

Kecskeméti Főiskola
Kertészeti Főiskolai Kar
Környezettudományi Intézet

**TENYÉSZEDÉNYBEN NEVELT SÁRGARÉPA ÉS PETREZSELYEM EGYES
RÉSZEINEK ARZÉNTARTALMA, ARZÉNNEL SZENNYEZETT ÖNTÖZŐVÍZ
HATÁSÁRA**

Tudományos Diákköri Dolgozat

Készítette: **Fazekas Enikő**

Kertészmérnök levelező MSc. 1. évfolyam

Konzulensek:

HÜVELY ATTILA

Főiskolai tanársegéd

TÓTHNÉ TASKOVICS ZSUZSANNA

Műszaki tanár

2012.

TARTALOMJEGYZÉK

I. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS:	3
II. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
II. 1. Az arzén előfordulása és kémiai tulajdonságai:	5
II. 2. Arzénes ivóvíz eredete Magyarországon.....	7
II. 3. A Magyarországon a vízkutakban mért legmagasabb arzéntartalmak	9
II. 4. Az arzén hatása az emberre és az állatokra.....	12
II. 5. Az arzén hatása a növényekre.....	14
II. 6. Arzén az élelmiszerekben	16
II. 7. Magas arzéntartalmú élelmiszerek	16
II. 8. Az arzén korábbi előfordulása és használata	17
II. 9. Az arzén betiltása.....	18
II. 10. A sárgarépa és a petrezselyem.....	18
II. 10.1. <i>A sárgarépa (Daucus carota L. ssp. sativus) termesztésének jelentősége</i>	18
II. 10.2. <i>A petrezselyem (Petroselinum crispum L.) termesztésének jelentősége.....</i>	19
III. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	23
III. 1. A kísérlethez felhasznált anyagok és eszközök.....	23
III. 1.1. <i>A gyökérzöltségek termesztése kísérletünkben</i>	23
III. 1.2. <i>A laboratóriumi vizsgálatok a kísérletben</i>	25
III. 2. A kísérlet leírása.....	26
III. 2.1. <i>A kísérlet indítása, a gyökérzöltségek nevelésének módszere</i>	26
III. 3. A mintavételezés módszere	30
III. 4. Az analitika módszere	32
III. 4.1. <i>A minta-előkészítés módszere</i>	32
III. 4.2. <i>A mintafeltárás módszere.....</i>	35
III. 4.3. <i>Az atom-emissziós spektrometria (ICP-AES) jellemzői:</i>	37
IV. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK.....	40
IV. 1. A sárgarépa karógyökerének arzéntartalma	40
IV. 2. A sárgarépa levelének arzéntartalma	40
IV. 3. A petrezselyem karógyökerének arzéntartalma.....	42
IV. 4. A petrezselyem levelének arzéntartalma	43
V. KÖVETKEZTETÉSEK.....	45
VI. ÖSSZEFOGLALÁS	46
VII. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	47
VIII. IRODALOMJEGYZÉK	48

I. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

Az arzén (As) már régóta jól ismert, a hazai kútvezekben is előforduló toxikus elem. A szakértők javaslatai alapján összeállított jogszabályok szerint ivóvizünk legfeljebb 10 mikrogramm/l [201/2001. Korm. Rendelet], növényi eredetű élelmiszereink pedig 200 mikrogramm/kg koncentrációban tartalmazhatják [17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet]. Szervetlen formái súlyos mérgek, karcinogén és toxikus hatásuk közismert, fogyasztásuk esetén az emberi test egész része károsodik, az idegrendszer, a vese, a vérképző rendszer, a légzőszervek és a máj működése csökken; valamint szaporodási és genetikai anomáliák és rákképződés is előfordulhat [Fergusson, 1991].

A probléma tényleges felismerése 1981-83 között történt meg. Az arzén a felszín alatti vízkészlet legsúlyosabb problémáját jelenti. Több mint 400 ezer ember fogyasztott ilyen arzénes ivóvizet akkor az országban [Statisztikai Tájékoztató, 2005].

Az 1980-as évek elején bizonyosodott tehát be, hogy hazánkban az ivóvezekben több helyen előfordult az akkor érvényes 50 µg/L szabvány határértéket meghaladó arzéntartalom. Ez leginkább az ország délkeleti vidékeit érinti (Bács- Kiskun, Békés, Csongrád és Szolnok megye). Békés megyében 160-250 µg/L koncentráció jellemző, de említésre méltó a szennyezés mértéke Baranya és Szabolcs- Szatmár- Bereg megyében is. Ezen kívül Pécs és Sopron környékén is találtak geológiai eredetű magasabb arzéntartalmú rétegvizeket [Galambos, 2006].

A WHO (az Egészségügyi Világszervezet) és az EU által ajánlott szigorúbb határérték (10 µg/l) betartása ivóvizeinkben nehéz feladat. Az arzén természetes jelenléte a felszín alatti vizekben a magyarországi vízszolgáltatóknak komoly problémát okoz, a fogyasztásra szánt víz megtisztítása igen költséges feladat. Az illetékes vízművek folyamatosan fejlesztik víztisztítási technológiájukat, hogy a jelenleg hatályos 10µg/l As határértéket ne lépjk túl ivóvizeink.

Megfeledezünk azonban arról, hogy az ország egyes részein arzénnel szennyezett öntözővízzel öntözött növények a talajból viszonylag könnyen felveszik, így esetenként igen nagy mennyiségű arzént is akumulálhatnak, ennek következtében a közvetlenül fogyasztható zöldségfélék jelentős arzénforrást jelenthetnek a lakosság számára, ezért is fontos a kertészeti termékek laboratóriumi ellenőrzése.

Balázs S. (2004) szerint Magyarországon a zöldségtermesztő terület körülbelül 50- 60 ezer ha- tesz ki, mind a szabadföldi és a fóliasátras termesztő berendezéses termesztési módszerrel együtt. A hazai zöldségtermesztő területünk nagy része, kb. 80 %-a a Dél-Alföldi régiót érinti, melyből a gyökérzöldségek, úgy mint a sárgarépa és a petrezselyem termesztése is Bács-Kiskun, Békés, illetve

Csongrád megyébe esik. A zöldségtermesztés intenzív öntözést igényel és ezeken a területeken a felszín alatti vizeknek magas az arzéntartalma.

A Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar Dísznövény- és Zöldségtermesztési Intézetének valamint a Talaj- és Növényvizsgáló Laboratóriumának összefogásában, arzénrel szennyezett öntözővízzel kapcsolatos kísérletsorozata 2009- és 2010-ben karógyökerű zöldségnövények, a sárgarépa és a petrezselyem arzénfelvevő és akkumuláló képességének vizsgálatát tűzte ki célul.

A kísérletsorozat célja a gyakorlatban is alkalmazott zöldségtermesztési módszerek modellezése mellett, kimutatni azt; hogy az általunk alkalmazott különböző arzénkoncentrációjú öntözővizek, melyek közül a 200 µg/l, mely megegyezik a dél-alföldi régióban jellemző, természetes módon előforduló kútvíz magas arzén koncentrációval; milyen módon akkumulálódhatnak a növények egyes részeiben. A vizsgálat során meghatároztuk a gyökérszövségek karógyökerének és levelének arzéntartalmát, különös figyelmet fordítva a növények fogyasztásra kerülő részére.

II. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

II. 1. Az arzén előfordulása és kémiai tulajdonságai:

Az arzén (1. ábra) a legrégebben elkülönített elemek közé tartozik. A középkorban, 1250-ben Albertus Magnus szappanfőzés közben lelt rá. Alkímiában szimbólum segítségével a fémekből aranyat akartak készíteni az alkímisták. Az alkímisták rendszeren az auripigmentet (arzén-triszulfid, As_2S_3), ritkábban a realgárt (vörös arzén-szulfid) értették alatta. Az auripigment sárga színű, mint a



1. ábra. Az arzén

kén, éppen ezért az alkímisták többször sulfur értelemben használták. Sokszor úgy vélték, hogy őszalkotórésze a fémeknek. A fémarszént 1694-ben állította elő Schröde, de az alkímista értelem még az 1700-as évek végén is általános. Brandt 1733-ban tanulmányozta. A stockholmi papiruszon is előfordul [Dental Hírek, 2004]. Még jóval a nitrogén felfedezése (1772) és a foszfor elemi formában történő előállítása (1669) előtt ismert volt.

Félfém típusú kémiai elem, melynek rendszáma 33, molekulatömege 74, 9216 g/mol (2.

ábra). Fémes (szürkearzén) és nemfémes (sárgaarszén) módosulata is van, az előbbi gyakoribb és stabilis, az utóbbi nem. A ritkább mikroelemek közé tartozik, gyakorisága a földkéregben 1,5 mg/kg, a tengervízben átlagosan 3,7 $\mu\text{g/L}$ koncentrációban található meg. Az arzéntartalmú ásványok bomlásakor kerül oldatba, a vízi élőlények, algák felhalmozzák testükben. Kőszéntelepeken nagyon feldúsulhat, a levegőbe a szén elégetésekor kerül, ipartelepek környezetében a talajba beszivárgó vizet szennyezi [Galambos, 2006].

Az arzénos vizek negyedidőszaki földtani-geokémiai környezetben, a folyóvízi-ártéri-mocsári üledékek korai diagenetikus átalakulási folyamatai során, több szakaszban képződtek. Bizonyítható, hogy az arzén felhalmozódása főként a kolloid Fe -oxihidroxidok felületén lejátszódott adszorpció, remobilizációja pedig a betemetődést követő, bakteriális-redukciós folyamatokkal hozható kapcsolatba [Csalagovits, 1999].

A Föld különböző pontjain a mélységi rétegvizek elég sok arzént tartalmazhatnak, így Indiában, Taiwanon, Mexikóban, Chileben, Japánban, Nagy-Britanniában, az Amerika Egyesült Államokban (USA) és hazánk területén is viszonylag nagy az arzéntartalom [Anawar et al, 2002.]. Ismert felszínközeli rétegből eredő, továbbá ipari hulladékból származó előfordulás is, a hazai mélységi vizek arzéntartalma azonban nem ember okozta szennyezés [Csanády, 1998, Galambos, 2006].



2. ábra. Az arzén a periódusos rendszerben

Arzén: (légykő; régi kohászati és gyógyszerészi neve cobaltum), kémiai elem, jele As. A természetben elemi állapotban is előfordul, de vegyületei a gyakoribbak, úgy, mint a realgár (As_2S_2) és az auripigmentum (As_2S_3), illetve oxidjai (As_2O_3 , As_2O_5). Fémekkel és kénnel együtt számos ércben is előfordul, ilyen érc például az arzenopirit (FeAsS). Leginkább fűrtöt alkotva, veseszerű halmazokban, héjas szerkezettel jelenik meg. A különálló kristályok ritkák; véglapjuk romboédere (kristályalak, a hatszöges kristályrendszer feles alakja. Hat rombuszlappal, kétféle éllel, kétféle csúccsal. A sarkélek zeg-zugosak.), színük fehéres-ólomszürke, néha szürkésfekete lehet. Gyakran keveredik antimonnal (allemontit), néha arany, ezüst és vas nyomait is tartalmazza. Leginkább arzéntartalmú ezüstércekkel terem együtt. Ismeretesebb termőhelyei: Felsőbánya, Nagybánya, Oravica, Nagyág, Freiberg, Annaberg (Szászország), Joachimsthal (Csehország), Andreasberg (Harz). A gyakorlatban felhasznált arzénnek csak kisebb részét teszi ki a természetes. Vegyületei általában kis mennyiségben elterjedtek, így egyes ásványi tartalmú vizekben is megtalálható mikroelemként (lippiki, cigelkai, roncenoi, levicoi ásványvizekben). Előállítás arzenopiritből történik, amelyet a levegőtől elzárva erősen hevítenek, az arzén felszáll, és ferroszulfid marad vissza. Nagy tisztaságú arzén előállításához az arzén-trioxid szén redukciójával jutnak hozzá. Az elemi arzén szürke, fémfényű, törekeny elem, amely a hatszögű rendszerben kristályosodik; fajhője 0, 083. Hevítésekor nem olvad meg, hanem szublimálva gőzzé alakul. Megolvasztása zárt edényben, nagy nyomású levegőben történik. Gőze citromsárga színű, jellemzően fokhagymaszagú. Gőzsűrűsége 10'2 (levegő = 1) v. 147 (hidrogén = 1) így tehát gáz halmazállapotú. Az elemi arzén négyatomos arzénmolekulák halmaza, mely nedves levegőn elég könnyen oxidálódik. Levegőben vagy oxigénben hevítve arzén-trioxiddá fakó kékes lánggal ég el. A klórral már közönséges hőmérsékleten is egyesül [Pallas, 1998].

Természetes előfordulása a földkéregben 0, 0002 %-nál kisebb mennyiségben van jelen. Anionként és kationként is számos ásvány összetételében szerepel, többnyire a kénnel együtt. Legfontosabb ásványa az arzenopirit. Bár önálló pontosabban, a higannyal és az antimonnal közös lelőhelyei is vannak, a világtermelés javát az arany-, réz-, cink- ólom- és kobaltbányászat melléktermékeként nyerik ki.

Az arzén a szelénnel is egyértelműen antagonistikus hatású, nagyobb mennyiségben való jelenléte lerontja a szelén hasznosulását.

Néhány természetes közeg arzéntartalma:

kőszén 5–45 g/t, (pernye, korom kb. 440 g/t-ig)

kőolaj 0, 2–0, 3 mg/liter

folyóvíz átlag 1, 7 μ g/l

tengervíz átlag 3, 7 μ g/l

ásványvizek 1–190 μ g/l

Az arzénes ivóvíz komoly környezeti probléma Magyarországon: az Alföld ivóvízkútjainak mintegy harmada $15 \mu\text{g/l}$ fölötti arzéntartalmú vizet ad. A levegő As-tartalma (európai átlag): 16 ng/m^3 [Ódor, Horváth, Fügedi, 1995].

II. 2. Arzénes ivóvíz eredete Magyarországon

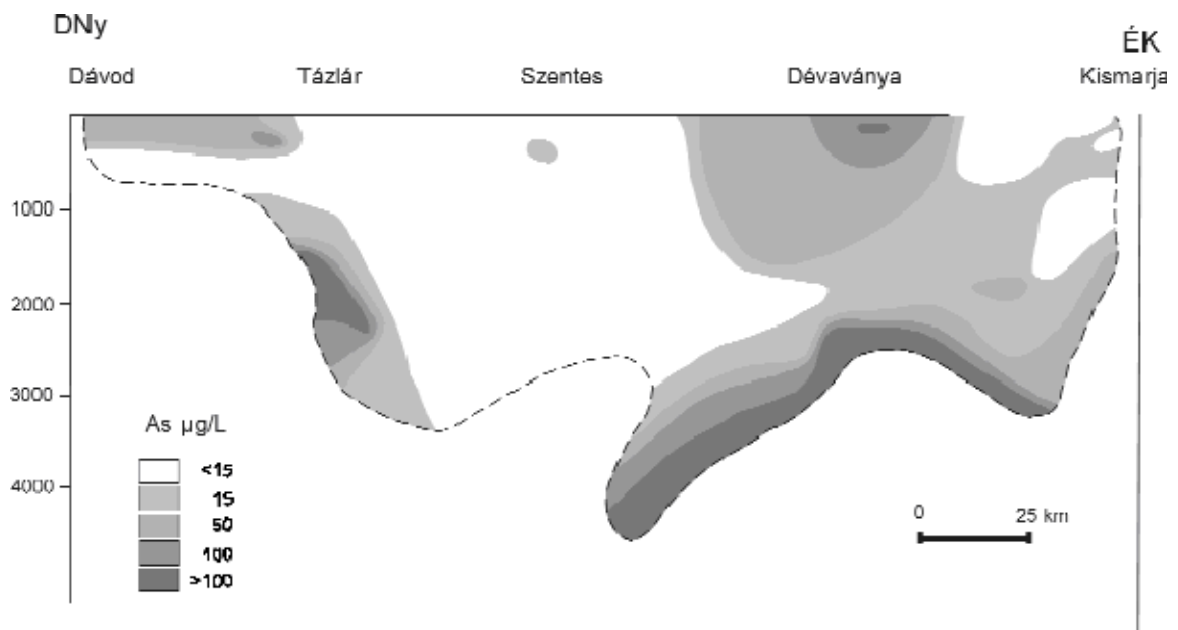
1981 áprilisában ismerték fel, hogy az ivóvízként hasznosított rétegvizek arzéntartalma Magyarország számos településén, főleg a Nagyalföld déli és keleti részén, az akkor érvényes egészségügyi határérték ($50 \mu\text{g/l}$) többszöröse is lehet. Mintegy 600 000 ember ivott ilyen vizet. Több évtized alatt részben arzénmentesítő eljárásokkal, részben az arzénmentes területekről csővezetéken szállított víz hozzákeverésével gyakorlatilag mindenütt sikerült az ivóvíz arzéntartalmát a magyar határérték alá csökkenteni. Időközben azonban beléptünk az Európai Unióba, és ezért az ivóvíz megengedhető arzéntartalmát kénytelenek vagyunk $10 \mu\text{g/l}$ -ben maximálni.

Ahhoz, hogy javíthassuk az arzénmentes vizek feltárásának és termelésbe vonásának esélyeit, alapvető az arzéndúsulások genetikájának ismerete. A vizsgálatok igazolták ugyan, hogy a regionális dúsulás természetes eredetű; kialakulásának idejét és mechanizmusát azonban a témával foglalkozó szerzők rendkívül változatos módokon képzeltek el.

A jelenséget először leíró közegészségügyi szakemberek [Csanády, 1985] úgy vélték, hogy az arzén az Erdélyi-érchegység lepusztult és a medencébe hordott, érces kőzeteiből jut a vízbe, de nem találtak magyarázatot arra, miért van az, hogy egyes helyeken kioldódik, másutt viszont nem.

Erdélyi (1990, 1991) szerint az arzén fő forrásai a medence peremén és a Magyar-középhegységben több helyütt húzódó, szigetív típusú (eocén, illetve miocén korú) andezitek. Úgy vélte, minél több andezit volt a Pannon-medence egyes részmedencéinek lehordási területein, annál több most ezen részmedencék rétegvizeiben az arzén. Ő is lehetségesnek tartotta, hogy az arzén egy részét az Erdélyi-érchegységben beszivárgó vízzel kerül a medencébe.

Szederkényi (1990) a medencealjzat karbonátos kőzeteinek metamorfózisából, átalakulásából származtatta a rétegvizek arzéntartalmát, és úgy vélte, hogy az a mélytörések mentén áramlik fel.



3. ábra. A felszín alatti vizek arzéntartalma a Dávod- Kismarja szelvényben [Tóth et al, 1985 után]

A feláramlási hipotéziseket Tóth et al. (1985) cáfolták meg, amikor kimutatták, hogy a fiatal üledékek rétegveizeiben az arzén két szintben dúsul: egyrészt közvetlenül az aljzat fölött (ez lehet metamorfogén), másrészt a felszín közelében. A kettő között, közepes mélységben a víz (többnyire) gyakorlatilag arzénmentes (3. ábra).

Csalagovits (1999) szerint az arzén a fiatal, holocén és pleisztocén folyóvízi üledékekben a vasoxi-hidroxidok felületén kötődött meg, és azért szabadul fel, mert ezek eltemetődve a talajvízszint alá, tehát redukzív körülmények közé kerültek. Felfigyelt a jégkorszaki üledékek és az arzénos vizek elterjedésének kapcsolatára: utóbbiak zömmel ott várhatók, ahol a pleisztocén rétegek vastagsága 50m-nél több (4. ábra).



4. ábra. A vizsgált településeken mért arzéntartalom és az 50 m-nél vastagabb negyedidőszaki üledékek elterjedése [Csalagovits, 1996 után]

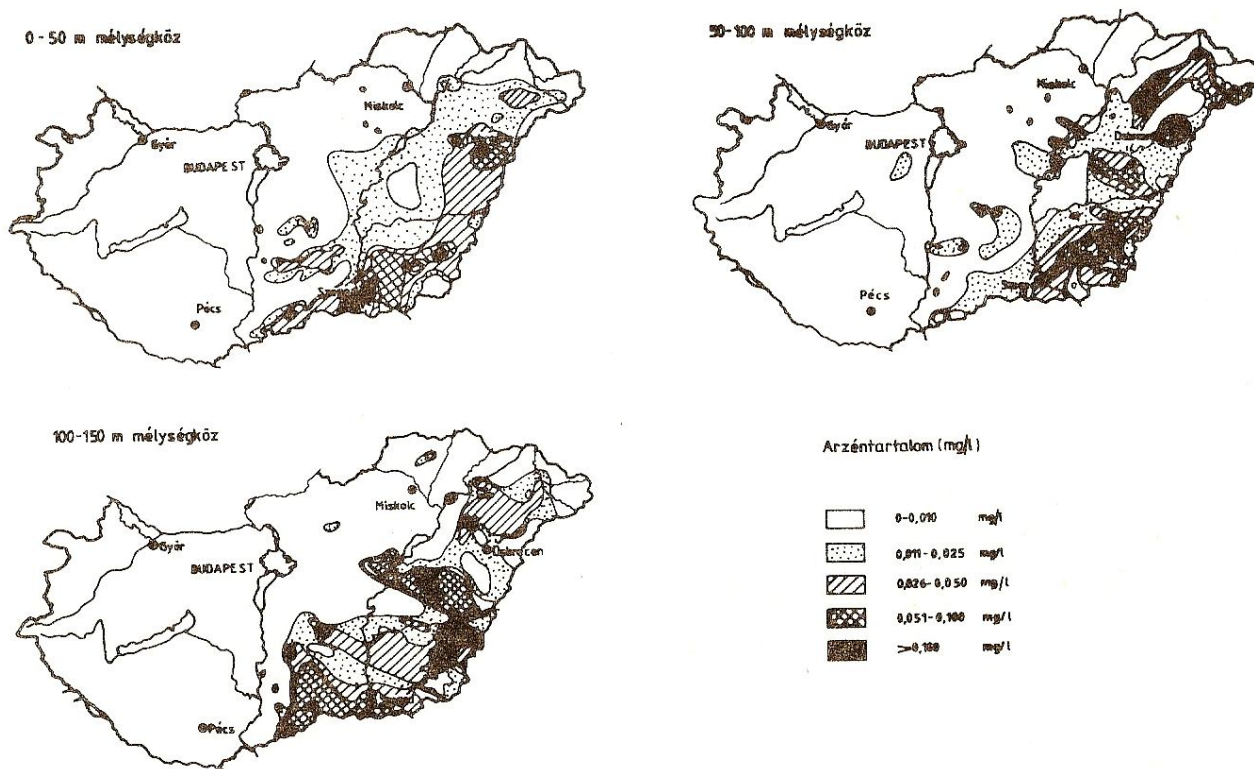
Varsányi, Ó. Kovács (2002) szerint az arzén fémorganikus komplexekben mobilizálódik. Kimutatták, hogy az arzén és a többi, vízben oldott komponens együtt mozgásának nincsenek regionális, az egész medencére érvényes szabályai; az elemtársulás áramlási rendszerenként más és más. Ennek látványos példájaként a Gödöllői-dombság környékének pleisztocén üledékeiben a víz arzéntartalma normális. A dombsorról lefolyó és a peremen beszivárgó többlet víz ezekből az üledékekből már kiöblítette az arzént. Hasonló, bár kisebb területű „kimosódásokat” más hegységperemeken is megfigyelhetünk [Fügedi, Szurkos, Vermes, 2004].

II. 3. A Magyarországon a vízutakban mért legmagasabb arzéntartalmak

Az Országos közegészségügyi Intézet (OKI) Kutatási Programjának keretében 1981-ben vízmintákat vett Szarvas város és más alföldi település több víztermelő kútjából és azokat arzéntartalomra is megvizsgálta. A vizsgálati eredmények több kút vizében az akkori ivóvízszabványban előírt 0,05 mg/l határértéket megközelítő vagy meghaladó értéket mutattak ki. A határérték közeli és az azt meghaladó arzéntartalom eseti kimutatása után a közegészségügyi és vízügyi szervek széles körű kutatási programot indítottak az arzén-szennyezettség mértékének és

területi lehatárolásának megállapítására, valamint az egészségügyi veszélyeztetettség meghatározására.

A kutatási programok alapján a következőket állapították meg: Az arzén szennyezettség természetes eredetű, és kiterjed Békés és Csongrád megyére, valamint Szolnok, Bács-Kiskun, Hajdú-Bihar megye egyes területeire is. Az érintett területen az arzén-szennyezettség az ivóvíz-kutak mélységétől függetlenül lényegében 50 és 300 m között általában megtalálható (5. ábra) [Mohácsi, 1987].



5. ábra. A felszín alatti vizeink arzéntartalma [Mohácsi, 1987].

Csanády és mtsai (1985), Szederkényi és mtsai (1990), Csalagovits és mtsai (1995, 1998) munkái alapján megállapítható, hogy az arzénos vizek képződése nem egyetlen földtani esemény terméke, nem az Erdélyi Érchegységből szállított törmelékes arzenopiritből származik, hanem egy több szakaszra tagolható földtani- geokémiai folyamatsor eredménye.

Az esetek döntő többségében az arzénos rétegvizek megjelenése negyedidőszaki, mocsári-ártéri képződési környezetben keletkezett, részben tarka üledékekhez kötött, és bárhol várható, ahol ilyen képződményeket találunk.

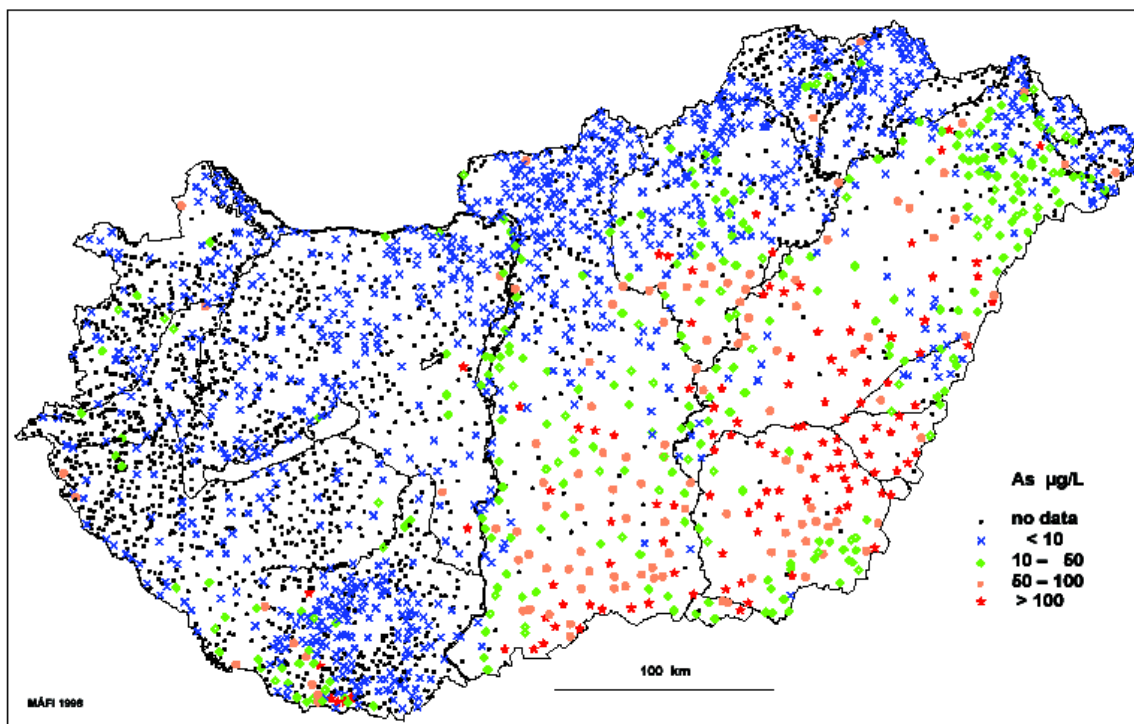
Az arzén akkumulációja során az ártéri-mocsári folyóvízi üledékgyűjtőbe került vas és mangán kolloidok kicsapódnak, és az arzén arzenátok formájában illetve felületi adszorpció révén velük együtt kicsapódik. A kristályos és kolloid vasoxihidráton való dúsulást a hazai gypvasérc

kiugróan magas mintegy 1000 mg/kg arzéntartalma is igazolja, mégpedig az előfordulási helytől függetlenül [Bartha, 1998].

Az arzénszennyeződés vertikális és horizontális elterjedését illetően alapvető eltérések vannak. A horizontális lehatárolás fontosabb megállapításai közé tartozik, hogy összefüggő magas ($> 0,05$ mg/l) arzéntartalommal jellemezhető területek Dél-Csongrádban, Dél-Bács-Kiskun megyében, a Tiszántúlon Békés megye középső és északi részén, valamint Hajdú-Bihar megye déli részén találhatók. A vizsgált területek többi részén a magas arzéntartalmú vizek előfordulására a foltszerűség, az izoláltság a jellemző. A vertikális lehatárolás legfőbb megállapításai közé tartozik, hogy a Tisza vonalától Ny-ra eső területrészen a határértéket meghaladó arzéntartalom maximum 330 m-ig mutatható ki, de a maximális értékek leggyakrabban 90-230 m között fordulnak elő. Csongrád megyében szintén ez a megállapítás jutott érvénybe.

A vertikális-horizontális elterjedést illetően a természetes eredetű As-szennyezettség a Tiszántúl középső részén, ezen belül is Békés megye központi részén van. Az arzéntartalom alakulását vizsgálva megállapították, hogy a magas arzéntartalom a felszínközeli rétegektől az 500 m alatti rétegekig kimutatható [Mohácsi, 1987].

Az 6. ábra a magyarországi településeken vízkutakban mért legmagasabb arzéntartalmakat mutatja. Az ábrán látható, hogy a nagy ivóvízbeli arzéntartalom főként az ország délkeleti területeit érinti (Békés megyében 160-250 $\mu\text{g/L}$), de jelentős a szennyezés mértéke Baranya és Szabolcs-Szatmár-Bereg megye területén is. Országsszerte 70 településünkön 30 $\mu\text{g/L}$, 400 településünkön 10 $\mu\text{g/L}$ feletti az ivóvíz arzénkoncentrációja, ez körülbelül 1,4 millió embert érintő probléma [Galambos, 2006].



6. ábra. A magyarországi településeken vízkutakban mért legmagasabb arzéntartalmak (redukált települési adatbázis)[Bartha, 1998].

II. 4. Az arzén hatása az emberre és az állatokra

Már régóta folytak kísérletek annak igazolására, hogy az arzén esszenciális elem, de csak a XX. század 70-es éveiben sikerült patkányok és egerek esetében igazolni a létfontosságot. A növekedés lelassulása és a durva szőrzet kifejlődése volt érzékelhető arzénmentes környezetben, arzénhiányos táp esetében, s kimutatható volt a hematokrit (a vér sejtjes elemei) érték csökkenése, a lép megnagyobbodása és fokozódott a vörösvértestek ozmotikus fragilitása, törékenysége. Később más állatok –csirkék, minisertések, kecskék- esetében is igazolható volt az arzén biológiai fontossága. Egyébként a szerves arzénvegyületek alkalmazásának kedvező hatása az állattenyésztésben (disznó, baromfi) –jobb takarmányhasznosulás, jobb egészségi állapot- már régóta, az esszenciális jelleg bizonyítása előtt is ismert volt.

Bár a gerinces állatoknál végzett és az esszenciális jelleget egyértelműen bizonyító kísérletek alapján igen nagy valószínűséggel állítható, hogy az arzén az emberi szervezet számára is létfontosságú, de a kutatók, mikroelem-metabolizmussal foglalkozó szakemberek nagy része az arzént inkább az úgynevezett toxikus mikroelemek közé sorolja. Bár az arzénre az emberi szervezetnek is szüksége van, de az élettani igény olyan minimális, hogy a táplálkozás gyakorlatilag minden esetben fedezi a szükségletet. Tehát az arzént tekintve nem fordulhat elő hiány belőle, ugyanakkor a túlzott bevitel, azaz a toxikus hatás reális lehet. Abból adódóan, hogy a szükségleti érték nagyon alacsony, gyakorlatilag csupán toxicitása okozhat gondot.

Az arzén a legmérgezőbb hatású félfém. Nemcsak az emberre, hanem minden magasabb rendű élőlényre nézve is mérgező. Az arzénnel kapcsolatba hozható mérgezési esetek bár megritkultak, ma is előfordulnak. A múltbeli mérgezések leginkább patkánymérgek, légyapíros, arzéntartalmú fukszin segítségével történtek, de a Schweinfurti vagy a Scheele-féle zölddel festett gyermekjátékok, tapéták, szövetek, sőt élelmiszerek által következtek be. A szervezetbe jutó arzén az enzimekhez kapcsolódva befolyásolja a sejtfolyamatokat, gyomorpanaszokat, nyelőcsőfájdalmat, hányást és véres hasmenést okozva. A mérgezés megtörténte után a bőr hideg és nyirkos lesz, a vérnyomás lezuhan, ezt görcsök és kóma kialakulása követi. Az arzénmérgezés krónikus is lehet, ilyenkor hosszabb időn át fennállhat gyengeséget, fáradtságérzetet okozva. A fokozott festékanyag-képződés következtében a bőr száraz és erősen pigmentált lesz, a száj nyálkahártyája megduzzad, és végül károsodnak az idegek. Ennek következményeként szúró fájdalom, zsibbadás és átmeneti bénulások jöhetnek létre. A halált végül szívelégtelenség, a csontvelő helytelen működése vagy fertőzés okozhatja. Mérgezést egyetlen nagy dózis is okozhat a szervezetben (akut mérgezés), ilyenkor a halál egy napon belül (bizonyos esetekben néhány óra után) bekövetkezhet. Akut mérgezés esetén az arzén elsősorban a bél nyálkahártyájára hat, igen hamar tüneteket, fájdalmakat, hányingert, hányást, híg széklettel járó hasmenést, izzadást és a torokban kaparó-égőérzést okozva, melyet ájulás és halál követhet. Az arzén iránti egyéni érzékenység széles skálán változhat, egyes emberekben tolerancia alakulhat ki az arzén olyan dózisaival szemben is, mely másokat képes már megölni.

Ha a mérgezés nem volt halálos, a lábadozás akkor is igen lassú, a betegek hosszú ideig kimerültek, olykor reszketegség, szellemi gyöngeség marad vissza. Hevenyebb mérgezések során általános sorvadás következik be a szervezetben, és a mérgezést szenvedett személy hetek múlva hal meg. Jellemző, hogy az arzénmérgezésben elhunytak haláluk után összeaszódnak, kiszáradnak, mint a múmia. Ennek oka, hogy az arzén fertőtlenítő voltánál fogva a rohadást okozó lebontó baktériumokat elpusztítja. Arzénmérgezett testek boncolásakor a belekben vérhashoz hasonló erős gyulladás, valamint a szívben, a májban és a vesékben elzsírosodás észlelhető.

Mivel az arzén kémiai elem (azaz nem bomlik tovább egyszerűbb összetevőkre), a mérgezett hajában, körmében és vizeletében a vizelet analízise vagy a boncolás után az arzénnyomok kimutathatók. Akut mérgezés esetén a beteget haladéktalanul kórházba kell szállítani. Ilyenkor a gyomormosás és a folyadékpótlás életmentő lehet, azonnal Dicaptolt kell adni két vagy három napon keresztül, ezt követően pedig penicillamint mindaddig, amíg a vizelet arzénmentes nem lesz. A mérgezett személyt kezelni kell kiszáradás, sokk, tüdőödéma és májkárosodás ellen, továbbá a dicaptol-kezelés befejezése után művesekezelés is szükséges lehet. A krónikus mérgezést szintén Dicaptollal kezelik.

Az arzént gyógyszerként, mint antidiszkratikaként használják, például váltóláz, krónikus bőrbajok orvoslása esetében. Erre a célra arzénos gyógyvizek (parádi, róncegnói vagy levicoi vizek) is alkalmazhatók. Csonbetegségek (csontlágylulás, angolkór) és ideges görcsök (az úgynevezett vidtánc) vagy zsábák ellen szintén sikerrel használják az arzént, rendesen az ún. Fowler-oldat (arzénessavas kálium-oldat) alakjában [Szabó, 1987].

II. 5. Az arzén hatása a növényekre

Az arzén biokémiai hatásmechanizmusa nem eléggé ismert. Nagyon valószínű, hogy a növények számára nem létfontosságú elem, sőt nem is stimulatív hatású. Viszont a talajok arzéntartalmától illetve az arzén módosulatok formájától, s a vízzoldható arzénvegyületek arányától függően a növények a talajból viszonylag könnyen felveszik, így esetenként igen nagy mennyiségű arzént is akkumulálhatnak. Ez geológiai adottság vagy inkább külső kontamináció (arzéntartalmú peszticidek mezőgazdasági alkalmazása) következménye.

Az arzénfelvétel mennyisége továbbá jelentősen függ a foszforellátottságtól, a foszfáttal bőven trágyázott talajok esetében az antagonizmus miatt alacsony a növények (pl: gabonafélék) As-tartalma.

Magyarországon egyébként 1968 óta tilos az As -tartalmú növényvédő szerek és hozamfokozó szerek felhasználása. Az egyes növények As- tűrése jelentősen eltérő lehet (*1. táblázat*) a burgonya, paradicsom, sárgarépa pl: jól tűri a magasabb arzéntartalmat is, míg a hagyma, kukorica nagyon érzékeny az arzén jelenlétére. Kihangsúlyozható, hogy a talajok As- tartalma általában többszöröse a litoszféra (kőzetburok) átlagos As- koncentrációjának, ami arra utal, hogy a talaj felszínén akkumulálódó arzén elsősorban atmoszférikus kiszóródásából származik. A talajban egyébként az As főleg arzenát, arzenit és monometil-arzénsav formában fordul elő, aerob körülmények között az arzenát, anaerob körülmények között az arzenit forma dominál [Szabó, 2007].

Vannak arzénrel szemben ellenálló, sőt gyűjtő növényfajok is. Overcash és Pal (1979) az *1. táblázatban* növényfajokat arzénmérgezéssel szembeni ellenálló képességük szerint csoportosították:

A jelenlegi helyzetben egyre csökken az arzén koncentrációja a humán élelmiszerekben. Ennek elsődleges oka, hogy az arzéntartalmú növényvédő szereket már nem alkalmazzák [Csathó, 1994.].

A talajtan és az agrokémia ismeretei szerint a nehézfémek (Co, Cr, Mo, Ni, Pb sőt még a réz és a cink is) és a félfémek (pl.: As) általában igen lassan mozognak a talajban. A témáról több szerző is ír, például Kádár Imre „A növénytaplálás alapelvei és módszerei” című könyvében. Ez a lassú mozgás azt is magában foglalja, hogy a növények csak kis mennyiségben és lassan veszik fel a fenti elemeket. Az előbbieknél több oka is lehet. Amennyiben a talaj CaCO₃ tartalma közepes, vagy

inkább magas, akkor a talaj pH-ja mindig semlegeshez közeli, ebben a tartományban pedig a fémek vegyületei stabilak, nehezen mennek oldatba, tehát a növények kevésbé tudják őket felvenni.

1. táblázat. *A növények As mérgezéssel szembeni toleranciája [Csathó, 1994]*

Nagyon toleráns	Meglehetősen toleráns	Gyengén toleráns
spárga	cukorrépa	lucerna
sárgarépa	takarmányrépa	Árpa
szeder	réti perje	Uborka
szőlő	földimogyoró	Limabab
tök	típpan	Hagyma
rozs	sütőtök	Paprika
szudáni fű	csomós ebír	Rizs
dohány	földi eper	Bab
paradicsom	cukornád	Áfonya
tarlórépa	csemegekukorica	Lóhere
bükköny	zab	koreai here
burgonya	búza	
rettek	borsó	

Másik fontos tényező a talaj szervesanyag-tartalma. Kiterjedt vizsgálatok folynak többek között a gödöllői Szent István Egyetemen azzal a céllal, hogy a talajok szerves összetevőinek óriási fémmegkötő képességét vizsgálják, kísérletek szerint ugyanis a nagyobb szerves anyag tartalom még jobban fokozza a fémek immobilitását [Bodor, 2007].

Horváth 1983-ban végzett tenyészedény kísérletében a különböző arzén adagok hatását tanulmányozta a talaj, valamint a burgonya, sárgarépa, retek és paradicsom termelésének arzén-tartalmára. Az emberi fogyasztásra alkalmas növényi részek az 1 mg/kg kritikus arzén koncentrációt az alábbi talaj arzénértékénél érték el: burgonya 6-7 mg/kg, sárgarépa 9-10 mg/kg, hónapos retek 13-14 mg/kg talaj arzén tartalmánál. A fentiek alapján a talaj higiénés szempontból megengedhető arzén tartalmát 6-7 mg/kg-ban adják meg. A tenyészedény kísérlet eredményeit arzénnel szennyezett homoktalajon vett talaj, illetve növéyminták adatai is megerősítették. Az alkalmazott talaj vizsgálati módszert és az arzén formáját viszont nem közlik a szerzők [Csathó, 1994].

II. 6. Arzén az élelmiszerekben

A legtöbb élelmiszer 0,50 mg/kg-nál kevesebb arzént tartalmaz. Egyes területeken azonban az ivóvíz arzéntartalma elérheti a 0,10 mg/liter értéket is Magyarországon, az alföld mélyfúrású kútjaiban is mértek 0,50- 0,80 mg/liter arzénkoncentrációkat. A természetes ásványvizek megengedett As- tartalma egyébként 0,02 mg/liter. Bányák, ipari üzemek közelsége és növényvédő szerek alkalmazása is növelheti az arzénexpozíciót

A napi As- felvétel általában 0,1 mg-ra becsülhető. Ha azonban az ivóvíz As-szennyezettsége jelentős, vagy a kérdéses egyén táplálkozásában a tengeri eredetű élelmiszerek meghatározó szerepet játszanak, akkor a napi As- bevitel meghaladhatja az 1 mg értéket is. Itt természetesen kihangsúlyozandó az As- specieszek jelentősége, hiszen ha az arzén bevitel döntő része szerves kötésben, például halakban, rákokban előforduló arzénből származik, akkor ennek nagyon minimális a hatása, még a szervesetlen eredetű arzén viszonylag kis koncentrációban is veszélyes lehet.

Hazánkban EüM rendelet írja elő az élelmiszerekben megengedhető As- tartalmat. Az intervallum egyébként meglehetősen széles, az adott élelmiszer eredetétől függően 0,05 és 4,0 mg/kg közötti határértékek vannak. Abból (is) adódóan, hogy Magyarországon több évtizede tilos As- tartalmú növényvédő szereket alkalmazni, nagyon megnyugtató a kép a hazai élelmiszerek As- tartalmát tekintve. Általában a tej, hús (nem belsőség), tojás As-koncentrációja alacsony vagy nagyon alacsony, többnyire 0,01 és 0,1 mg/kg közötti érték. Zöldségeknél, gabonánál, gyümölcsöknél ennél magasabb értékek is előfordulnak, esetenként meghaladhatják a mért értékek a 0,1mg/kg koncentrációt [Szabó, 2007].

Az EüM rendelet legutóbbi módosítása szerint a friss fogyasztású zöldségfélék megengedett As-határértéke 0,200 mg/kg [17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet], eredeti nedvességtartalmú állapotra vonatkoztatva.

II. 7. Magas arzéntartalmú élelmiszerek

A legmagasabb koncentrációk többnyire tengeri eredetű mintákban mérhetők. A tengeri növények (algák, moszatok) és állatok (halak, rákok, kagylók) As- tartalma egyaránt magas, s többnyire nagyságrendileg haladja meg a szárazföldi eredetű élelmiszerekben mérhető As-koncentrációkat. Ennek csak részben oka az, hogy a tengervíz As- koncentrációja magasabb, mint általában az édesvizekben mérhető érték, ugyanis az édesvízi halakban mért As- tartalmak is jelentősen meghaladják a szárazföldi állatok szöveteire jellemző szinteket. Tengeri kagylóknál esetenként a 100 mg/kg koncentráció is előfordulhat.

Bár a hazai fogyasztásokat tekintve a tengeri eredetű élelmiszerek jelentősége igen mérsékelt, de egyedi esetekben ebből adódóan meghatározó lehet az ilyen forrásból származó As- mennyisége. A

hazai fogyasztók többségénél viszont inkább az a meghatározó tényező az arzénbevitelt tekintve, hogy milyen a fogyasztott ivóvíz As- tartalma, illetve milyen mértékű a belsőségek fogyasztása. A májban az arzénkoncentráció háromszorosa az izomszövetekben mérhető értéknek.

Az arzénmérgezés tüneteirel döntően az As aktív SH- csoportokat blokkoló hatása tehető felelőssé. Az erőteljes toxikus hatás miatt -már napi 5 mg bevitele is mérgezést okozhat- lényeges feladat a tápláléklánc arzén- szennyeződésének megakadályozása. Ezért szigorodtak az As-re vonatkozó normák is, korábban 0,05 mg/liter volt az ivóvízre vonatkozó határ, az újabb ajánlások már 0,01 mg/liter határértéket közölnek. Az ételekből, italokból származó napi As- felvétel maximumára egyébként a WHO 0,002 mg/kg értéket javasol, azaz felnőtt átlagembernél (75 kg) ez 0,15 mg/nap körüli mennyiséget jelent [Szabó, 2007].

II. 8. Az arzén korábbi előfordulása és használata

A mérgező dózis nagysága igen különböző lehet; éspedig az arzénessav poralakban sokkal kevésbé mérges, mint oldatban; épp így vajjal keverten, ebéd után véve még 5 centigrammot is kár nélkül el lehet viselni; a schweinfurti zöldből egy esetben 50 gramm okozott halált, ellenben az arzénhidrogénnek már néhány buborékja villámgyorsan öl; egyéb As vegyületek hatása egy óra alatt jelentkezik, s a halál átlag tíz óra múlva következik be. Az As mérgező volta nemcsak az emberre szorítkozik, hanem minden magasabb rendű állatra, sőt a növényekre is kiterjed.

Az arzénevés szokása a 19. században elterjedt volt, különösen tirolai és stájer pásztorok és zergevadászok körében abból a célból, hogy nehéz lélegzés nélkül küzdjék le a hegymászás fáradalmait; a fiatal leányok, asszonyok is gyakran rabjai e szokásnak, mert általa telt idomokra, fénylő szemekre és fénylő, feszes arcbrőre lehet szert tenni.

Leginkább a kénarzént (auripigment) használták, melyben körülbelül 10-20% arzénessav van. Az evést egész kis dózisokon kezdték, s apránként egész 40 grammig (tehát a halálos dózis sokszorosáig) emelték, emellett igen magas életkort érhettek el; az arzénevés abbahagyása azonban veszedelmes elgyöngüléssel járt. Ezért az arzénevés-szenvedélyüknek továbbra is rabjai maradtak. Szokás volt továbbá a lovakat is arzénrel tartani, hogy azok kövérek és fényes szőrűek legyenek. A rómaiak az arzént főként a rágcsálók irtására használták.

Arzén és a fogkezelés: a fogfájás elmulasztására a középkorban Scribonius Largus már 1529-ben felforrósított féműt használt, amellyel az ideget kiégette, kauterizálta. E folyamat megsegítésére többféle anyagot is használtak, hogy elősegítse a destrukciót, ezek az anyagok (kauterium potentiale) a következők voltak: ammónium, kénsav, lapis, arzén különböző formája. Az arzén fogászati alkalmazása először 1836-ban Spooner ajánlására került a gyökérkezelés módszerei közé [Dental Hírek, 2004].

II. 9. Az arzén betiltása

A vele való mérgezések az utóbbi húsz év alatt megritkultak, ugyanis Magyarországon 1968 óta tilos As- tartalmú növényvédő szerek és hozamfokozók alkalmazása [Szabó, 2007]. Mindazáltal ma is előfordulnak, különösen az arzénessavval, mely íztelen voltánál fogva véletlen és bűnös szándékú mérgezésekre egyaránt alkalmas. A mérgezések kivált patkánymérgek, légyapíros, As- tartalmú fukszin által (utóbbival különösen régebben) történnek, de azon kívül a schweinfurti v. a Scheele-féle zölddel festett gyermekjátékok, tapéták, szövetek, sőt élelmiszerek által is; nemkülönben szőrtelenítő szerekkel (melyekben realgár és auripigment szokott lenni) és a Pearson-féle oldattal való mérgezések is (utóbbival, melyben arzénsavas nátrium van, különösen Franciaországban) [Pallas, 1998].

Az Európai Bizottság 552/2009/EK rendelete szerint az arzénvegyületek nem használhatók fel a mikroorganizmusok, növények vagy állatok megtelepedésének megakadályozására: - hajótesteken, - ketreceken, úszón, hálón és más hal- és kagylótenyésztésre használt eszközökön és berendezéseken, - bármely teljesen vagy részben víz alá merülő eszközön vagy berendezésen. Tilos használni faanyag tartósítására, továbbá, az így kezelt faanyagot nem lehet forgalomba hozni.

II.10. A sárgarépa és a petrezselyem

II. 10.1. A sárgarépa (*Daucus carota L. ssp. sativus*) termesztésének jelentősége

Balázs S. (2004) szerint az egyik legrégebben termesztett zöldségnövény. Termesztési múltja 3-4 ezer éves. Termesztése Magyarországon is régi keletű. Lippay könyvében (1664) már közismert növényként szerepel.

Őshazájaként valamennyi szerző Euráziát jelöli meg. Thompson és Kelly (1957) európai és ázsiai eredetűnek tartják, és megjegyzik, hogy a régi görögök és a rómaiak már ismerték és fogyasztották. Balázs és Filius (1973) szerint vad alakja Észak-Európától a Kaukázusig, az Uráltól Szibériáig megtalálható. Yamaguchi (1983) arra utal, hogy a Földközi-tenger medencéjének keleti térségében alakult ki, és a görögök és a rómaiak nemcsak élelmiszer-, hanem gyógynövényként is hasznosították [Balázs, 2004].

Kezdetben a vörös színűt termesztették, a sárga csak a XVI. Században terjedt el, és fokozatosan szorította ki a vöröset. Feltételezések szerint az első narancsszínű sárgarépa a sárga színűből spontán mutáció révén keletkezett, és ez szolgált kiindulási alapként a későbbi nemesítéshez. Az első narancsszínű répákat Hollandiában állították elő a XVII-XVIII. Században [Hodossi, Kovács, Terbe, 2004].

Elsősorban szabadföldi növény, a hajtásával főleg a nyugat-európai országokban foglalkoznak. Magyarországon szabadföldön termesztik nagy mennyiségben, hajtásával csak az utóbbi évtizedekben foglalkoznak. Hazai magtermesztése szintén jelentős [Balázs, 2004].

Világviszonylatban évente mintegy 780-800 ezer hektáron termelnek sárgarépat, ebből Európában 270-280 ezer ha a termőterülete. Az európai országok közül legnagyobb mennyiségben Franciaországban, Olaszországban, Lengyelországban valamint Nagy-Britanniában termesztik. Hazánkban termelési adatok szerint a 2005-2009. években 1100-2510 ha között alakult a sárgarépa-termesztés területe. A termésátlag ugyanezen időszakban 51 és 72t/ha közötti volt [FruitVeb, 2010.]. Termesztésével országsszerte foglalkoznak a házikertekben azonban nagy területen jövedelmező sárgarépa termesztést csak a növény számára kedvező környezeti feltételek mellett lehet megvalósítani. A sárgarépa fejlődéséhez jó ökológiai adottságokkal rendelkező tájakon alakultak ki a főbb termesztési körzetek: a Kisalföldön Dunakiliti, Rajka, Fertőd és Győr környékén; a Mezőföldön Székesfehérvár környékén; az Alföldön Tura-Galahéviz, Budapest, Kecskemét, Békéscsaba, Csongrád, Debrecen és Nyíregyháza körzetében jelentős a termesztése [Hodossi, Kovács, Terbe, 2004].

A piacon keresett növény. Fogyasztja a lakosság (30-35 ezer tonna), feldolgozza a tartósítóipar (35-40 ezer tonna) és exportja is jelentős (1-4 ezer tonna). Főleg a tartósítóipari termékeket exportálják, de sor kerülhet a csomózott áru kivitelére is.

Táplálkozási értékét tekintve elsősorban karotintartalma jelentős, amely átlagosan 7mg/100g. A hancs mindig többet tartalmaz, mint a farész. A karotinon kívül található még benne B1-, B2-, B6- és C-vitamin, valamint nikotinsav is. Ásványi anyagai közül a kalciumot és a foszfort kell kiemelni, de tartalmaz vasat is. Kellemes illatát illóolaj-keveréke és a cukor adja. A keverék fő alkotói a terpének. Cukortartalma 6%, amely di- és monoszaharidokból tevődik össze (szacharóz, glükóz, fruktóz) [Balázs, 2004].

II. 10.2. *A petrezselyem (Petroselinum crispum L.) termesztésének jelentősége*

A petrezselyem a XVI. század óta ismert és kedvelt zöldségnövény Európában. A Földközi-tenger mellékén Spanyolországtól Görögorszáig vadon előfordul, főleg források környékén, kavicsos, köves területeken [Hodossi, Kovács, Terbe, 2004].

Nem tartozik a nagy területen termesztett zöldségnövények közé. Termesztjük szabadföldön és hajtásban is. Ezen kívül magtermesztése jelentős [Balázs, 2004].

Hazánkban 1000-2460 ha között alakult a petrezselyem termőterülete a 2005-2009-es években hazai termelési adatok szerint [FruitVeb, 2010]. A megtermelt összes termésmennyiség pedig 31-42 ezer tonna közötti volt éves szinten. Házikerti termesztésével országsszerte foglalkoznak, de nagyobb összefüggő termőterületeivel általában csak a sárgarépa-termesztési körzetekben

találkozhatunk. Nálunk főleg a gyökérpetrezselyem (melynek gyökerét és levelét is egyaránt fogyasztjuk) termesztése terjedt el. A kora tavaszi időszakban csomózott zöldségként- sárgarépával vagy magában -, később gyökérként értékesítik. Télen a tárolt gyökér biztosítja a háztartások és a feldolgozóipar igényét. Az úgynevezett levélpetrezselyem – melynek gyökere nem hasznosítható – főleg Nyugat-Európában jelentős zöldségnövény.

A petrezselyem felhasználása szűkebb körű, mint a sárgarépáé, fűszerező értéke miatt ételízesítőként alkalmazzuk. Gyökerét és lombját egyaránt hasznosítják a háztartásokban, valamint a feldolgozóiparban. Konzervált, fagyasztott és szárítmányként feldolgozott zöldségkeverékek készülnek, gyökerével, levelével levesporokat ízesítenek.

A tavaszi hónapokban a petrezselyem lombja fontos vitaminforrást jelent táplálkozásunkban. C-vitaminban rendkívül gazdag (140-150mg/100g). A gyökér beltartalmi értékei közül az ásványi anyagok (főleg a kalcium és a foszfor) és a szénhidrátok a jelentősebbek. A növény jellegzetes ízét, illatát az illóolaj-tartalma adja, amely a gyökerében, levelében és a magban is egyaránt megtalálható [Hodossi, Kovács, Terbe, 2004].

II. 10.3. A sárgarépával kapcsolatos kísérletek

Kádár Imre „A talaj-növény- állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel” című munkájában megfigyelhetőek a sárgarépa elemterheléssel kapcsolatos 1992-es kísérlet eredményei, tapasztalatai:

Mérsékelt termésdepressziót jelzett a legnagyobb adagú As kezelés, közepesen fitotoxikus volt a növekvő Hg terhelés, valamint erősen mérgezőnek mutatkozott a Se és különösen a Cr. A Cr és Se szennyezés a növények teljes pusztulását eredményezte egyes parcellákon. Ugyanakkor figyelemre méltó, hogy a 13 vizsgált elemből (Al, As, Ba, Cd, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) csak 4 okozott bizonyíthatóan károsodást a répában. Olyan közismerten mérgezőnek tekintett szennyező nehézfémek, mint a Cd, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn nem vagy alig csökkentették a gyökér termését (megjegyzés: a Kádár-féle szabadföldi kísérletben alkalmazott toxikus-elem dózisok: 30, 90, 270 kg fém mennyiség /ha, sók formájában kijuttatva).

A terméscsökkenés főképpen az egyedszám mérséklésében nyilvánult meg, a növények száma mind a 4 toxikus elem hatására igazolhatóan lezuhant. A növények pusztulása már a korai fejlődési szakaszban, a kelés idején jelentkezett. E téren a Cr bizonyult a legkifejezettebben mérgezőnek.

Alig 1-2 vagy néhányszoros koncentrációnövekedést mutatott az erősen szennyezett talajon az Al, Ba, Cr, Cu, Sr és a Zn. Bár nagyságrendi dúsulást jelzett, mégis a 10 ppm körüli maximumon maradt az As, Cd, Ni, Pb, azaz mozgásuk korlátozott a talaj-növény rendszerben. A lomb szennyezettsége a korrallal nőtt a Hg, valamint jelentősen csökkent a Se és Mo esetében. Úgy tűnik, hogy a növények képesek voltak kiválasztani a közegbe a Se és Mo felesleg egy részét. A

maximális növényi elemtartalmakat vizsgálva a két mintavételi időben megállapítható, hogy az Al, As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sr koncentráció nőtt az előregedő lombban, míg a Cd, Mo, Se, Zn csökkent.

Drasztikusan lecsökkent a S, P, K, Na, Zn, B átlagos mennyisége, míg a Ca, Mg, Fe, Mn az előregedés elemei voltak. Összefoglalóan arra a következtetésre juthatunk, hogy míg az esszenciális elemek nagyobb része csökkenő koncentrációt mutat az előregedő levélben (hígulás, újrahasznosulás a fiatal szervekbe történő átvándorlással, kilúgozódás esővel stb.), addig a szennyezők nagyobb része határozottan akkumulálódik a növény korával, az expozíciós idővel.

A gyökér egy nagyságrenddel kevesebb Al-ot és 1/5 annyi Ba-ot tartalmaz, mint a lomb. Úgyszintén szegényebb a Cr, Ni, Sr, Zn elemekben is. Az elemek egy része a kontroll talajon termett gyökérben a lombhoz hasonlóan 0.1 ppm alatti tartományban a kimutathatósági határ alatt található: As, Cd, Cr, Hg, Ni, Mo. Kevésbé jelentkezik a szennyezés okozta dúsulás is. Egyáltalán nem bizonyítható a növekvő terhelés hatása az Al, As, Pb koncentrációkban, ill. nem jelentős és a statisztikailag bemutatott hibahatárt mérsékelten lépi túl a Ba, Cu, Ni esetében. Az As és Cr mérgezés szinte abszurdnak tűnik a gyökérelemzés alapján, hiszen a gyökerekben jószérivel ki sem mutathatók ezek a szennyezők.

Mérsékelt 1.5-2-szeres dúsulást mutat a Zn és a Sr, 10 ppm alatt marad a Cd, Ni, Pb koncentrációja. Utóbbi elemek abszolút tartalma ugyan az erősen szennyezett gyökérben is alacsony, de ez több nagyságrendbeli emelkedést tükröz és a terméket emberi vagy állati fogyasztásra alkalmatlanná teszi. Megállapítható, hogy az As terhelés nem tette fogyasztásra alkalmatlanná a gyökértermést. A Hg koncentrációja ugyanakkor 4-5-ezerszeresen haladta meg az engedélyezettet a maximális terhelés nyomán. Az Pb terhelés e tekintetben mérsékelt hatású e talajon, mindössze 2-3-szoros határérték túllépést eredményezett. A Cd szennyezés közbülső helyet foglalt el mintegy 40-50-szeres határkoncentrációt mutatva. A fentiekén túl mérgezőnek és élettanilag elfogadhatatlannak minősíthető a sokezerszeresére nőtt Mo és Se akkumuláció. Mindkét elem esszenciális az állat és az ember számára, hiperakkumulációjuk e talajon (mészlepedékes csernozjom) külön figyelmet érdemel, hiszen szinte korlátlanul feldúsulhatnak a táplálékláncban [Kádár, 1995].

Dr. Sipter Emese Enikő Ph. D. dolgozatában (2008) a Gyöngyösoroszi (a Mátra nyugati lejtőjén fekvő település) ércbánya által okozott toxikus fémszennyeződés egészségi kockázatát vizsgálta a falu területén. A környékén folytatott több évszázados bányászat felborította a vidék vízháztartását. A területen a Toka-patak a legjelentősebb felszíni vízfolyás, mely a bánya fölött valójában csak időszakos vízfolyás, de esőzések alkalmával jelentős mennyiségű vizet vezethet le a mélyen bevágódó meder és a mederben található hordalék mérete alapján. A patak fő táplálója az Altárónál kilépő bányavíz, amely tisztító berendezés után jut a patakba. Azonban a bányászati tevékenység során többször történtek havária esetek, azaz bányavíz zúdult a felszínre szabályozatlan módon,

magával sodorva érces és meddő kőzetanyagokat, iszapot és zagyot. A szennyezőanyagok a patak üledékébe kerültek, mely áradások alkalmával a megművelt területekre jutott.

A vizsgálat során szabaföldi és tenyészedenyes kísérletet különítettek el. A szabaföldi kísérletben több mintavételi helyet jelöltek ki, megkülönböztetve a patak által elöntött és nem elöntött kiskerteket. Ezekben a kiskertekben növénymintákat is vettek, melyek a területen leginkább termesztett zöldségek voltak: Paradicsom, tök, bab, hagyma, sárgarépa és sóska. A tenyészedenyes kísérletet két talajjal végezték el: egy területre jellemző, nem elöntött kiskertből származó szennyezetlen talajjal, illetve ennek a talajnak 20%-nyi meddőanyaggal készített keverékével, melyekbe sárgarépa és sóska magot vetettek.

A talajban az arzéntartalom minden esetben meghaladta a szennyezettségi határértéket, a kadmium- és cinktartalom a meddőhányó és az elöntött kiskert esetében, az ólomtartalom a meddőhányó és a szennyezett kísérleti talaj esetében haladta meg a határértéket.

A zöldségek vizsgálatakor az arzéntartalom minden esetben a kimutatási határ alatt volt. Az elöntött kiskertekben termesztett zöldségek fémtartalma minden esetben magasabb volt a nem elöntött kiskertben termesztettnél. A legmagasabb kadmium tartalmat a sárgarépában, ólomtartalmat a hagymában, cinktartalmat a sóskában mértük a szabaföldi mintáknál. A tenyészedenyes kísérletben minden fémből a legmagasabb koncentrációkat a sóskánál mértük. Az egyetlen kimutatható arzéntartalom ($1,214 \text{ mg kg}^{-1}$) a szennyezett talajon termesztett sárgarépa esetében volt [Sipter, 2008].

B. H. Zandstra és T. A. De Krygerb (2007) Arsenic and lead residues in carrots from foliar applications of monosodium methanearsonate (MSMA): A comparison between mineral and organic soils, or from soil residues című munkájában azt vizsgálták, hogy a sárgarépa karógyökerei akkumulálják-e az arzéntartalmú növényvédő szerek talajban maradt maradványait. Az As-tartalmú post-emergens gyomirtó szerek nem megfelelő alkalmazása is eredményezheti a növények nagy mennyiségű As-felvételét. Sárgarépát ültettek ásványi illetve szerves talajra és mononátrium-metánarzonát (MSMA) tartalmú post-emergens gyomirtó szerrel kezelték. Az arzén-koncentrációja minden növényi rész esetében csökkent a betakarítás előtt 30 nappal, illetve betakarításkor. Az As-koncentrációja kisebb volt, mint a kimutatási határ a kezelt növények esetében. Egy másik vizsgálat során, üvegházi kísérletben egy régi gyümölcsös talaját használták termesztő közegként, ahol korábban sok éven át As-tartalmú növényvédő szereket alkalmaztak. Az As-koncentráció magasabb volt a régi gyümölcsös talajon nevelt növények esetében, mint a kontroll talajon, de mindkét esetben az értékek a kimutatási érték alatt maradtak [Zandstra, De Krygerb, 2007].

III. ANYAG ÉS MÓDSZER

A sárgarépa és petrezselyem arzénfelvevő és akkumuláló képességének vizsgálata 2009-ben egy úgynevezett tájékoztató-kísérlet volt, melyet annak érdekében végeztünk el, hogy ismeretet szerezzünk az említett gyökérzöldségek arzénfelvevő képességével kapcsolatban. Ebben az időszakban három különböző arzéndózist alkalmaztunk, 200-400-600 µg/l-t, melynél a legkisebb koncentráció tükrözi a dél-alföldi régióban található legnagyobb természetes kútvíz-koncentráció értéket és megegyezik az öntözővizekre érvényes legmagasabb töménységű tűrhető arzénértékkel. A közepső és a legnagyobb dózisok extrém öntözési körülményeket modelleznek, illetve növényélettani szempontból tudományos célt szolgálnak. A kontroll mintacsoportot arzénmentes tápoldattal neveltük.

A 2010-es évben ismét elindítottuk a gyökérzöldségek tenyészedenyes kísérletét, de ez nem az előző év ismétlésének, hanem inkább jelentős kibővítésének tekinthető, mivel a dózisok számát háromról ötre növeltük, 50-100-200-400 és 800 µg/l-t alkalmazva. Az arzénrel szennyezett öntözővíz kijuttatása két különböző módszer segítségével valósult meg. Az egyik az úgynevezett *esőztető öntözésnek* felel meg, vagyis a szennyezett víz először a növény levelével érintkezik. Ennek főként a nyári időszakban van jelentősége, amikor is a növény felületére érkező víz gyorsabban elpárolog, így feltételezhetően arzénszennyezést hagy maga után. A másik öntözési módszer a *csepegtető módszernek* felel meg, vagyis az arzénrel szennyezett öntözővíz nem kerül a növények lombozatára.

III.1. A kísérlethez felhasznált anyagok és eszközök

III.1.1. A gyökérzöldségek termesztése kísérletünkben

A kísérletet a Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar Dísznövény- és Zöldségtermesztési Intézetének bemutatókertjében végeztük el. A gyökérzöldségeket 60 cm átmérőjű és 90 cm magas, körülbelül 1: 3 arányban földbe süllyesztett tenyészedenyekben neveltük (7. ábra), melyeket a térségünkre jellemző homoktalajjal töltöttünk fel. A tenyészedenyek fontos tulajdonsága, hogy zárt rendszerűek, alsó összefolyó nyílásuk csatornával összekötött, vagyis a feleslegessé váló, arzénrel szennyezett öntözővíz nem kerül ki a természetbe, hanem összegyűjtve elvezetésre kerül.

Sárgarépa és petrezselyem teszt növényekkel végeztük el a kísérletet, mely során öt különböző, 50, 100, 200, 400, 800 µg/l-es, növekvő arzénkoncentrációjú öntözővízzel öntöztünk.



7. ábra. A tenyészedények lerakása

A dózisok egy része a hazai kútvizekben is előforduló arzénszintet modellezi, másik része, mely túllépi az engedélyezett 200 $\mu\text{g/l}$ -es határértéket, extrém öntözési körülményeket jelent és növényélettani szempontból tudományos célt szolgál. A gyökérzöltségek teljes tenyészidőszaka alatt, 2-3 lombleveles állapottól a „betakarításig”, a kísérlet bontásáig arzénnel szennyezett öntözővízzel elégtettük ki a növények vízszükségletét. Tudományos célból az öntözést elkülönített egységek szerint különböző módon valósítottuk meg, mely a különböző dózisok mellett egy következő tényezőt eredményez. Az egyik öntözési módszer, mely a hagyományos termesztési körülmények között is megvalósul, az ún. *esőztető öntözés*, melynek lényege, hogy az öntözővíz elsőként a növény lombzatát éri (8. ábra). A másik módszer a közvetlenül a talajra történő öntözővíz kijuttatást jelenti, mely a hagyományos termesztésben a *csepegtető öntözésnek* felel meg. A két különböző módszer elkülönítésére azért van szükség, mert feltételezhető, hogy főként a nyári időszakban a lombzat felületéről nagy mennyiségben elpárolgó öntözővíz arzénszennyezést hagyhat a növény felületén. Különös jelentősége lehet ennek élelmiszerbiztonsági szempontból a petrezselyem esetén.



8. ábra. *Esőztető öntözés*

Az öntözések során felhasznált, arzénrel szennyezett öntözővíz előállítását laboratóriumi körülmények között kezdődött, a Kertészeti Főiskolai Kar akkreditált Talaj- és Növényvizsgáló Laboratóriumában, ahol analitikai tisztaságú szerek álltak rendelkezésünkre. Először is egy 0,5 g/l-es törzsoldatot készítettünk. A kiinduló vegyületünk arzén-trioxid (As_2O_3), mely kristályos arzén vegyület, ebből készítettünk vizes oldatot, melyben arzénsav (H_3AsO_4), illetve ionos formában arzenát (H_3AsO_4^-) van jelen. A hazai természetes vizekben, a szennyezett területeken is ebben az ionos formában található meg az arzén.

III. 1.2. A laboratóriumi vizsgálatok a kísérletben

A vizsgálandó minták előkészítése a Kertészeti Főiskolai Kar Talaj- és Növényvizsgáló Laboratóriumában történt. Rendelkezésünkre állt egy Milestone Ethos Plus típusú mikrohullámú roncsoló, mely egy minta-előkészítő berendezés, valamint egy Horiba Jobin Yvon Ultima 2-es típusú ICP atomemissziós spektrométer, mely a kísérlet során az arzén töménységének a meghatározására szolgált. Ezen kívül a segítségünkre szolgált egy szárítószekrény, analitikai mérlegek és egyéb laboratóriumi eszközök, valamint a minták előkészítéséhez az analitikai tisztaságú vegyszerek.

III. 2. A kísérlet leírása

III. 2.1. A kísérlet indítása, a gyökérzöldségek nevelésének módszere

A kísérlet szempontjából fontosabb agrotechnikai műveleteket az alábbi táblázat tartalmazza:

2. táblázat. *A sárgarépa és petrezselyem termesztés néhány agrotechnikai műveletének időpontja*

Művelet	Ideje
Vetés	2010.07.23.
Arzénes kezelés kezdete	2010.08. 10.
Kísérlet bontása:	
Sárgarépa betakarítás	2010.10. 05.
Petrezselyem betakarítás	2010.10. 26.

A tenyészedények lerakását követően az edényeket a környéken is megtalálható homoktalajjal töltöttük fel. A magvetés ideje 2010. július 23-a (9. ábra), amikor a vetőmagot, melyet a Dísznövény- és Zöldségtermesztési Intézet bocsátott rendelkezésünkre, helyrevetéssel a tenyészedényekbe vetettük, két koncentrikus körben. A petrezselyem esetében a középhosszú tenyészidejű Arat fajtát választottuk, míg a sárgarépánál a Nayarit F1 fajtát, mely rövid, 95 napos tenyészidejű növény. A magvetés tehát két koncentrikus körben történt, egy kisebb és egy nagyobb körben egyenletes magvetéssel. A kelés időszaka a sárgarépánál 10-12 napot tett ki (13. ábra), ezzel szemben a petrezselyem lassabban kelt, a magas illóolaj tartalom miatt, 16-18 nap alatt (15. ábra). A kezdeti fejlődés időszakában, amikor növényeink elérték a körülbelül 10 cm-es magasságot, beállítottuk a megfelelő tőszámot, mely egyszerű ritkítással történt.



9. ábra. *Vetés után a kísérlet*

A 10-11-12. ábrákon látható a kísérlet elrendezése. Megfigyelhető, hogy összesen 24 tenyészedénybe vetettük el a gyökérzöldségeinket, amelyből 12-12 volt a petrezselyem – sárgarépa növényünk. 20 tenyészedényt szennyeztünk arzénnel, 10-ben petrezselyem és szintén 10-ben a sárgarépa tesztnövények. A maradék 2-2 edényben lévő növények képviselték a kontroll mintacsoportot, azaz arzénnel szennyezett öntözővízzel nem érintkeztek. 5 edényben lévő növények kapták közvetlenül a levélre a szennyezett öntözővizet, 5 edényben lévő növények pedig a talajra, növényfajonként.

Sárgarépa					Petrezselyem				
Dózisok					Dózisok				
50 µg/l	100 µg/l	200 µg/l	400 µg/l	800 µg/l	50 µg/l	100 µg/l	200 µg/l	400 µg/l	800 µg/l

10. ábra. A kísérlet elrendezése

- : a tenyészedények,
Lp: a levélre történő öntözés (esőztető) – petrezselyem,
Ls: a levélre történő öntözés – sárgarépa,
Tp: a talajra történő öntözés (csepegtető) – petrezselyem,
Ts: a talajra történő öntözés – sárgarépa,
○ -ben számok: az ismétlések számai.

A tenyészkerthben lévő kísérleti növényállomány három sorban helyezkedett el. Az első sorban 5-5 sárgarépa- petrezselyem tenyészedények sorakoztak, melyeket esőztető öntözéssel öntöztünk. A második sorban szintén 5-5 edény volt elhelyezve növényfajonként, de ebben az esetben talajra történő, csepegtető öntözéssel juttattuk ki az öntözővizet. A harmadik sorban csupán 4 tenyészedény állt, mely a kontroll mintacsoport. A 11-12-es ábrákon látható jobb oldali, teljes hosszúságú sor nem az arzénes kísérlethez tartozik, így azzal kapcsolatban dolgozatomban nem számolok be.



11. ábra. *A növekedő tesztnövények*



12. ábra. *A gyökérzöltségek nyáron*

Korábban már részleteztem, hogy öt különböző, növekvő koncentrációjú arzéndózist alkalmaztunk, ami a gyakorlatban úgy valósult meg, hogy dózisonként 2 edényt öntöztünk mindkét tesztnövény esetében, egyet az esőzető, egyet pedig a csepegtető öntözési módnak megfelelően.



13-14. ábra. *A sárgarépa kelés után és betakarítás előtt*



15-16. ábra. *A petrezselyem kelés után és betakarítás előtt*

Az öntözővizet 20 literes műanyag kannákba készítettük elő. Először a 0,5 g/l-es törzsoldatból kimértük a megfelelő adagokat az egyes dózisokhoz. A legkisebb, az 50 µg/l-es dózishoz 2 ml-t, a 100 µg/l-eshez 4 ml-t, a 200 µg/l-eshez 8 ml-t, a 400 µg/l-eshez 16 ml-t és a legnagyobb, a 800 µg/l-es dózishoz pedig 32 ml-t mértünk ki kalibrált fecskendővel a törzsoldatból. Ezután töltöttük fel a kannákat, a korai fenofázisok idején nitrogén dúsabb, később pedig standard tápoldatos vízzel. Az öntözővízhez szükséges tápoldatot a Disznóvén- és Zöldségtermesztési Intézet bocsátotta rendelkezésünkre. Az arzénrel szennyezett öntözővízes kezelés 2010. augusztus 10-én vette kezdetét. A kezelés során más öntözővizet nem kaptak növényeink, csupán természetes eredetű csapadékot, amely a tenyészidőszak alatt lehullott. Az öntözések gyakorisága hetente két alkalmat tett ki, amikor tenyészedeinkenként 3 litert juttattunk ki az egyes dózisokból.

III. 3. A mintavételezés módszere

A mintavételezést a kísérlet teljes tenyészideje alatt egyszer, a kísérlet bontásakor végeztük el, 2010. 10. 05-én a sárgarépa (14. ábra), 2010. 10. 26-án pedig a petrezselyem bontása zajlott (16. ábra). Mindkét alkalommal egy időben történt a gyökér- és a levélminták vétele is, a tenyészedények elnegyedelésével kaptuk meg a 4 ismétlést (17. ábra), ezután ültetőlapátokkal meglazítottuk, majd kiástuk a növényeket (18-19. ábra). Ismétlésenként véletlenszerűen 4-5 karógyökér- és lombozatmintát gyűjtöttünk be.

A betakarított karógyökereket nejlonzacskókba, a levélmintákat pedig papírzacskókba gyűjtöttük, majd így kerültek a minták Laboratóriumi feldolgozásra. A karógyökérmintákat tisztítás, feldolgozás után üveg tárolóedényekbe helyeztük.



17. ábra. A kísérlet bontása, a négy ismétlés



18. ábra. *Petrezselyem* minták



19. ábra. *Sárgarépa* minták

III. 4. Az analitika módszere

III. 4.1. A minta-előkészítés módszere

III. 4.1.1. A karógyökérminták előkészítése

A karógyökérminták előkészítése az úgynevezett hagyományos előkészítő módszer segítségével történt, mindkét növényfajunk esetében. A Laboratóriumba érkező karógyökérmintákat először is megtisztítottuk a szennyeződésektől, a talajtól. Ezt követően késsel kockákra aprítottuk, majd Petri-csészékbe, valamint üvegedényekbe tettük (20. ábra).



20. ábra. A megtisztított, kockára vágott petrezselyem gyökérminták

Ezután szárítószekrénybe helyeztük (21. ábra), majd 70 °C-on légszáraz állapotúra szárítottuk ki mintáinkat (22-23. ábra). A száraz karógyökérmintákat homogenizálni, darálni kellett, amíg lisztfinomságú porrá nem őrlődtek.



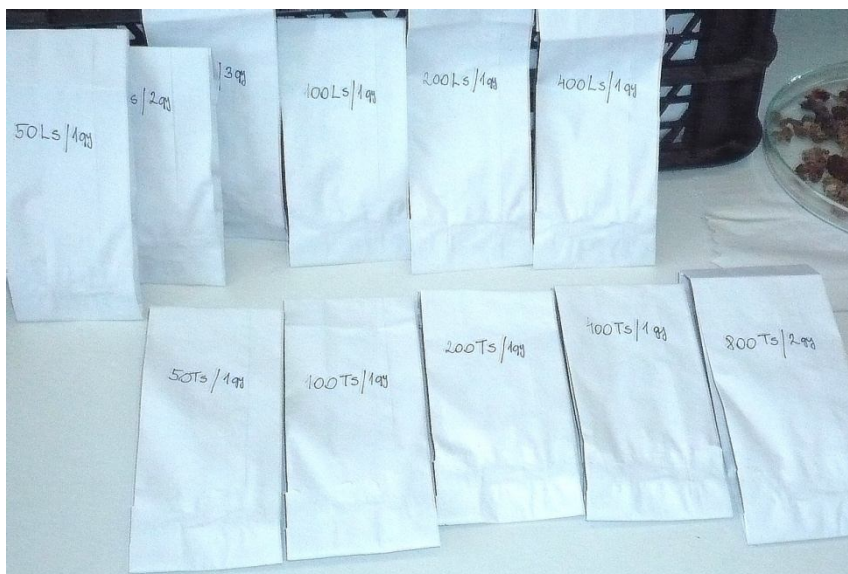
21. ábra. A szárításra előkészített minták



22-23. ábra. A kiszáritott sárgarépa gyökérminták

III. 4.1.2. A levélminták előkészítése

A levélmintákat papírzacskókba raktuk, ezután 70°C-on szárítószerényben légszárazra szárítottuk, majd daráló segítségével lisztfinomságú porrá őröltük (24-25. ábra).



24. ábra. A papírzacskókban lévő homogenizált minták



25. ábra. Lisztfinomságú porrá őrölt sárgarépa gyökérminta

III. 4.2. A mintafeltárás módszere

A mintafeltárás az úgynevezett Milestone Ethos Plus típusú mikrohullámú roncsoló segítségével valósult meg. A roncsoló 100 cm³-es teflon bombájába 0,5 g növénymintát mértünk ki.



26. ábra. A roncsoló bombák, a hidrogén peroxid és a salétromsav

A bemért mintára adagoltunk 5 cm³ analitikai tisztaságú tömény salétromsavat (cc. HNO₃) (27. ábra), és 1 cm³ 30 %-os, szintén analitikai tisztaságú hidrogén-peroxidot (H₂O₂) (28. ábra), (26. ábra). Az így kapott minta kerül a mikrohullámú roncsoló roncsolóterébe, ahol szabályozott hőmérsékleten (200 C°-on), 25 perc alatt folyékony halmazállapotúvá oldódik fel az erős sav és a hidrogén peroxid hatására (29. ábra). Ezután 19 cm³ ionmentes vízzel 25 cm³-re hígítottuk fel a roncsolandó mintát. A keletkezett oldatokat közepes átfolyású szűrőpapíron szűrtük le PE mintatárolókba (30. ábra). Tehát a 0,5 g növényi mintához összesen 25 cm³-es oldatot adtunk, így kaptuk meg az 1:50-hez arányú mintát.

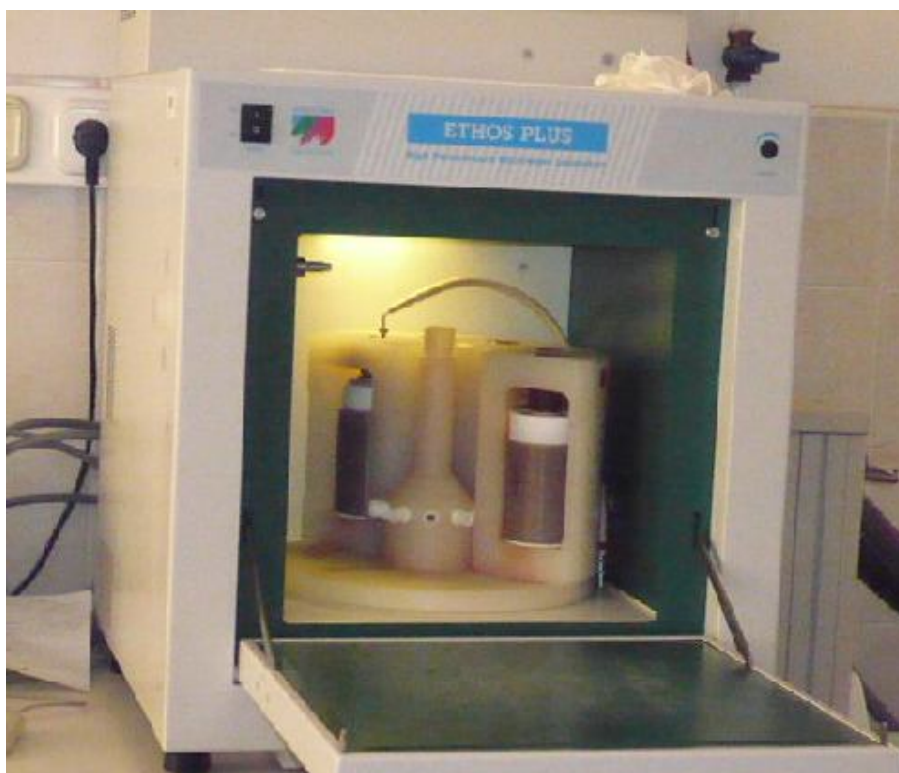
Ezt követően a minták műszeres analitikai vizsgálata (ICP-AES) következett, amikor az arzéntartalom meghatározása került sor.



27. ábra. A roncsoló bombában található salétromsavval



28. ábra. A bombában lévő pezsegő minta minta a hozzáadott hidrogén peroxiddal



29. ábra. A roncsolóba helyezett bombák



30. ábra. A művelet befejeztével szűrőpapíron átszűrt folyékony halmazállapotúvá vált minták

III. 4.3. Az atom-emissziós spektrometria (ICP-AES) jellemzői:

Maga az ICP elnevezés szűkebb és eredeti értelemben egy emissziós forrást jelöl, amely leggyakrabban argonplazma, tágabb értelemben pedig az ICP-n a plazmaemissziós spektrometria módszerét, illetve az ICP-sugárforrással működő spektrométert értjük (31. ábra). Az ICP az Inductively Coupled Plasma (Induktív Csatolású Plazma) kifejezés rövidítése, ahol az induktív csatolás az energiaközlés csatolására utal [Hüvely, 2005].

III. 4.3.1. A készülék működésének a lényege:

A készülék emissziós tere az úgynevezett torch (32. ábra). Ez egy rézcsőből hajlított spirálból áll, mely körül nagyon magas frekvenciájú, váltakozó pólusú elektromágneses tér működik. Ez a térképes spirálba vezetett, stabil szerkezetű argon gázt körülbelül 10 000 K-re gerjeszteni.



31. ábra. Az ICP atomemissziós spektrométer

A gerjesztés során egy gyertyaláng alakú, erős fényű „szűrőláng” világít, melyet plazmának nevezünk (33. ábra). Ebbe a plazmába perisztaltikus pumpával vezetjük az előzetesen feltárt, folyadék halmazállapotú mintát. Mivel a plazma körülbelül a Nappal megegyező hőmérsékletű, ezért a beporlasztott minta valamennyi összetevője, például ionok és vegyületek, nyomban atomos és ionos állapotúra esnek, tehát a készülék mondhatni „mindent lát”, ami az oldatban van, függetlenül az oldatban esetleg jelen lévő komplex, stabil vegyületek arányától.



32. ábra. Az ICP plazma tere (torch)



33. ábra. A gerjesztés során keletkezett plazma

A plazmában felvett hőenergiát a mintából származó atomok és ionok fény formájában bocsátják ki, így kerülnek gerjesztett elektronjaik kisebb kvantumszámú elektronpályákra. A kibocsátott fény hullámhossza (nm) minden elemre egyedileg jellemző, erőssége, azaz intenzitása pedig lineáris, az adott elem oldatbeli koncentrációjával pozitív koncentrációban áll. Ez a két összetevő teszi lehetővé a minőségi és a mennyiségi vizsgálatot, mégpedig egyszerre [Hüvely, 2005].

III. 4.3.2. A fény útja a készülékben:

A fény a plazmából a készülék optikai rendszerébe lép, majd a belépő oldallal szembeni első tükör visszaveri azt a holografikus rácsra.

Működés közben a rács az első tükör felől érkező „fehér” fényt (ez tartalmazza a minta teljes fénykibocsátását, vagyis a teljes elemspektrumot) milliónyi különböző hullámhosszú fénynyalábra bontja, majd tengelye körül lassan elfordulva, adott ideig az egyes, az éppen vizsgálandó hullámhosszú fénynyalábot a második tükörre vezeti. Ezzel tehát egyszerre csak egy elem hullámhosszát szelektáljuk ki a fehér fényből.

A második tükörről a szelektált fény rövid ideig a detektorban (HDD) nyelődik el, miközben a detektor leméri annak intenzitását. Ezután fordul a rács és a detektor máris a sorban következő újabb elem fényintenzitását méri.

III. 4.3.3. Kimutatható elemek:

Az ICP-vel a periódusos rendszer elemeinek körülbelül 80 %-át tudjuk vizsgálni, viszont kivétel nélkül csak atomos és ionos koncentrációra vonatkoztatva kapjuk az eredményeket, vagyis a mintában lévő szerves és szervetlen, összetett vegyületek mennyiségét csak utólagos kalkulációval tudjuk meghatározni [Hüvely, 2005].

IV. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

IV. 1. A sárgarépa karógyökerének arzéntartalma

A 2010-ben elvégzett kísérletben a sárgarépa karógyökerében kimutatható As- tartalmat nem mértünk (3. táblázat). A kimutathatóság határa 0,3 mg/kg arzén szárazanyagra vonatkoztatva, mely körülbelül 0,03 mg/kg arzént jelent eredeti nedvességtartalmú növényre vonatkoztatva. Az általunk kimutatott érték (0,03 mg/kg), az EüM rendelet szerint megengedett határérték, vagyis a 0,200 mg/kg (eredeti nedvességtartalmú állapotra vonatkoztatva) tizede [17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet]. Még a legnagyobb, a 800 µg/l-es dózisonál sem mértünk kimutatható értékeket.

Mindezek oka valószínűleg a talaj jó humusztartalmában (1,5-2 H%), az enyhén lúgos pH-jában és a tápoldat jó foszforellátottságában keresendő. Vizsgálatok támasztják alá, hogy a talaj nagy szervesanyag- tartalma fokozza a mikroelemek immobilizását, illetve magas vagy közepes CaCO₃ tartalom, valamint semlegeshez közeli, enyhén lúgos pH esetén a fémek vegyületei stabilak, nehezen oldódnak, így a növények számára kevésbé válnak felvehetővé. Az arzén a foszforral antagonist, kémiai rokonságuk miatt konkurálnak, a tápoldat jó foszforellátottsága miatt az arzén nem volt hozzáférhető a növények számára [Kádár, 1991.].

3. táblázat. *A sárgarépa karógyökerének arzéntartalma szárazanyagra vonatkoztatva, az egyes dózisok ismétlésátlagai (2010.)*

Sárgarépa karógyökér		
Tápoldat As-koncentráció	Esőztető öntözés	Csepegtető
50 µg/l	<0,30	<0,30
100 µg/l	<0,30	<0,30
200 µg/l	<0,30	<0,30
400 µg/l	<0,30	<0,30
800 µg/l	<0,30	<0,30
mg/kg sz.a.		

IV. 2. A sárgarépa levelének arzéntartalma

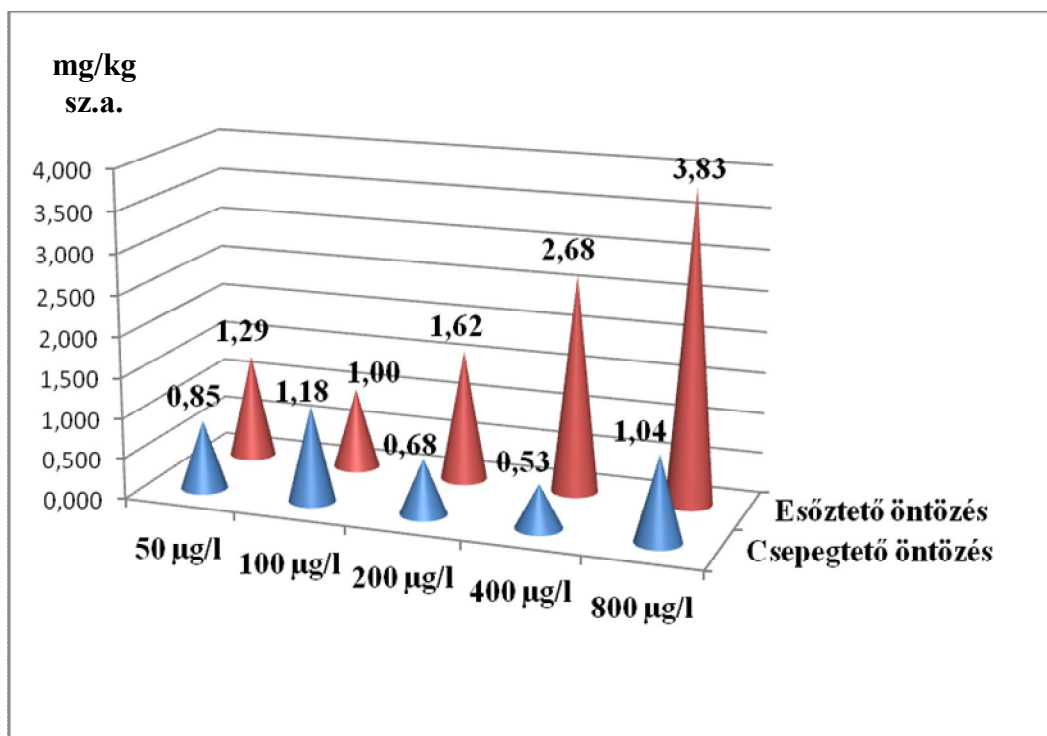
A lombozatban már mutatkozott kimutatható arzéntartalom. A csepegtető öntözés esetében az egyre növekvő arzéndózisok különböző mértékű, a dózisokkal nem lineárisan változó, pozitív

korrelációt nem mutató ütemben alakultak (4. táblázat). A táblázatban az egyes dózisok négy ismétlésének átlaga olvasható.

Az esőztető öntözés esetén a 100 µg/l-es dózist kivéve, az egyre növekvő As-dózisok pozitív korrelációval egyre növekvő As-tartalmat okoztak: 1,29; (1,00); 1,62; 2,68; 3,83 mg/kg az egyes dózisok ismétléseinek átlaga.

4. táblázat. A sárgarépa levelének arzéntartalma szárazanyagra vonatkoztatva, az egyes dózisok ismétlésátlagai (2010.)

Sárgarépa levél		
Tápolydat As-koncentráció	Esőztető öntözés	Csepegtető
50 µg/l	1,29	0,85
100 µg/l	1,00	1,18
200 µg/l	1,62	0,68
400 µg/l	2,68	0,53
800 µg/l	3,83	1,04
mg/kg sz.a.		



34. ábra. A sárgarépa levelének arzéntartalma szárazanyagra vonatkoztatva (2010.)

A fenti diagramon (34. ábra) jól látszik, hogy az esőztető öntözés hatására, amikor a kiöntözött szennyezett víz a lombozat felületét érintve kerül a talajra, lényegesen magasabb arzéntartalom alakul ki a sárgarépa leveleiben, mint a csepegtető öntözés hatására. Ennek az arzéntartalomnak nagy része talán fel sem szívódik a növény levélfelületén keresztül, mégis a vizsgált mintákból kimutatható.

A csepegtető öntözés mintáinak eredményeiből érdekes növényélettani ellentmondás tárul elénk. A növény raktározó szervében, vagyis a karógyökérben nem jelenik meg a kijuttatott toxikus elem, míg ugyanazon növények lombozatában igen, még ha annak koncentrációja a dózisok emelkedő mértékét nem is követi pontosan. A mikroelemek a növény asszimiláló szerveiben működő enzimek felépítésében játszanak fontos szerepet, elképzelhető, hogy ezért van jelen az arzén is nagyobb koncentrációban a levelekben.

IV. 3. A petrezselyem karógyökerének arzéntartalma

A sárgarépa-hoz hasonlóan, egyetlen ismétlést leszámítva, a legnagyobb dózis egyes ismétlését, itt is a kimutathatósági határérték alatti As-tartalmat mértünk (5. táblázat). A jelenség lényegében ugyanazokra az okokra vezethető vissza, mint a sárgarépa esetében, tehát a tápoldatnak köszönhetően a jó foszforellátottságra; a jó humusztartalomra, mely 1,5-2 H%, és az enyhén lúgos pH-ra.

5. táblázat. *A petrezselyem karógyökerének arzéntartalma szárazanyagra vonatkoztatva, az egyes dózisok ismétlésátlagai (2010.)*

Petrezselyem karógyökér		
Tápoldat As-koncentráció	Esőztető öntözés	Csepegtető
50 µg/l	<0,30	<0,30
100 µg/l	<0,30	<0,30
200 µg/l	<0,30	<0,30
400 µg/l	<0,30	<0,30
800 µg/l	<0,30	<0,30
mg/kg sz.a.		

IV. 4. A petrezselyem levelének arzéntartalma

A csepegtető öntözés esetében a lombozatnál az 50 µg/l-estől a 200 µg/l-es dózsig 0,59; 0,72; 1,2 mg/kg; vagyis egyre növekvő As-dózisokat tapasztaltunk. Azonban a 400 µg/l-es dózisonál 1,17, a 800 µg/l-esnél pedig 0,83 mg/kg-os As- koncentrációt kaptunk. Ebben az esetben nem mondható el, hogy a növekvő dózisok, egyértelműen növekvő As-tartalmat okoztak volna.

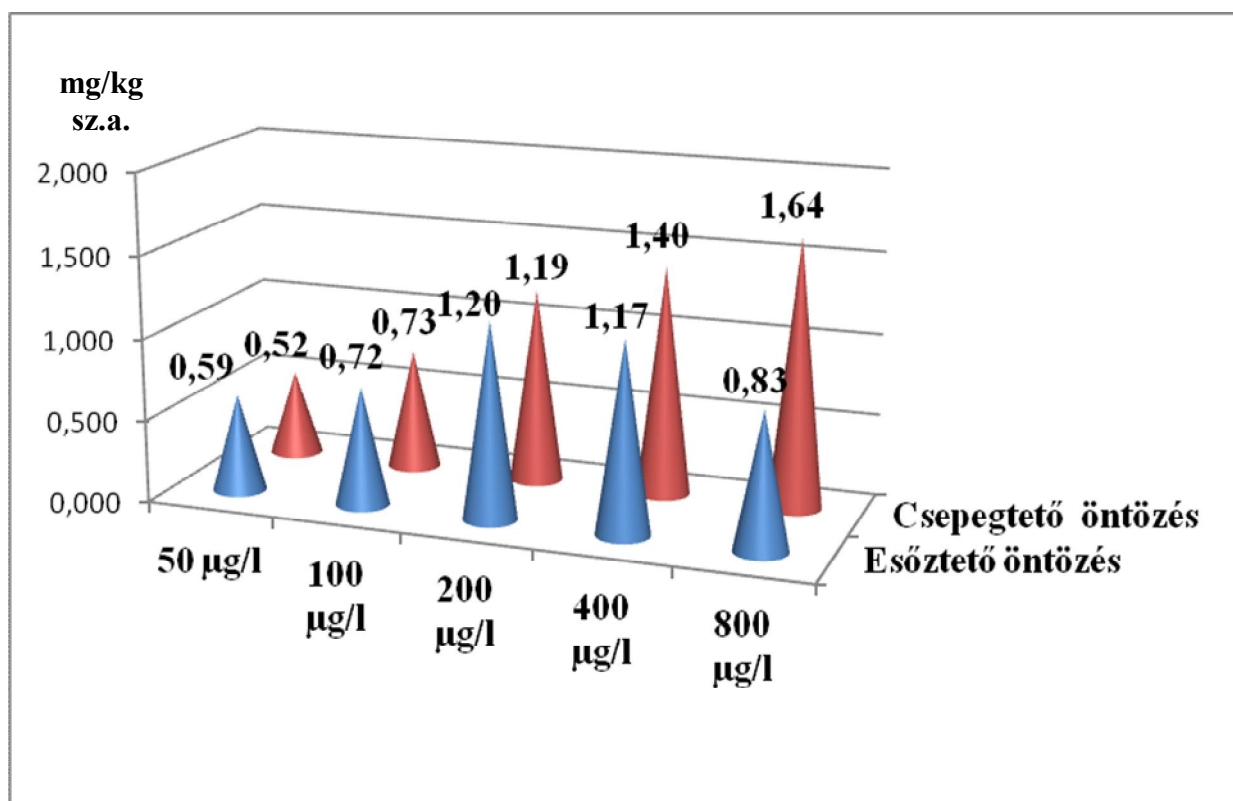
Az esőztető öntözés esetében azonban kivétel nélkül valamennyi dózisa igaz, hogy az egyre növekvő dózisok, egyre növekvő As-tartalmat okoztak: 0,52; 0,73; 1,19; 1,40; 1,64 mg/kg, szárazanyagra vonatkoztatva (6. táblázat). A táblázatban az egyes dózisok négy ismétlésének átlaga olvasható.

A petrezselyem zöldjének átlagos szárazanyag-tartalma 15%, vagyis a szárazanyagra vonatkoztatott As-tartalmat átlagosan 7-el kell osztani, ahhoz, hogy az eredeti nedvességtartalmú petrezselyem As-tartalmát kapjuk.

A 400-, 800 µg/l-es dózisok néhány ismétlésében mértünk 1,5; 2 mg/kg körüli értékeket is, amiket, ha 7-el osztunk, akkor 0,2 mg/kg eredeti nedvességtartalmú növény határértéknél magasabb értékeket kapunk. Ilyen értékeket kaptunk a 400 µg/l-es dózisonál, esőztető öntözés esetében az 1-es (1,74), a 2-es (1,48), a 4-es (1,69) ismétlésnél, valamint a csepegtető öntözés esetében a 3-as ismétlésnél 2,01-es értéket mértünk. A 800 µg/l-es dózisonál mind a négy ismétlésnél 1,5 fölötti értékek figyelhetők meg: 1,59; 1,61; 1,62; 1,74 mg/kg. Ezekben az esetekben tehát már nem fogyasztható a petrezselyem zöldje a magas arzén-tartalom miatt.

6. táblázat. *A petrezselyem levelének arzéntartalma szárazanyagra vonatkoztatva, az egyes dózisok ismétlésátlagai (2010.)*

Petrezselyem levél		
Tápoldat As-koncentráció	Esőztető öntözés	Csepegtető
50 µg/l	0,52	0,59
100 µg/l	0,73	0,72
200 µg/l	1,19	1,20
400 µg/l	1,40	1,17
800 µg/l	1,64	0,83
mg/kg sz.a.		



35. ábra. A petrezselyem levelének arzéntartalma szárazanyagra vonatkoztatva (2010.)

A fenti diagramon (35. ábra) jól látszik tehát, hogy a 10 kezelésből összesen 8-ra igaz, hogy az egyre növekvő arzén-dózisok egyre növekvő arzén koncentrációkat eredményeztek a levelekben.

Érdekes, hogy a csepegtető és az esőztető öntözések levél-arzén eredményeit összehasonlítva nem jelentkezett olyan markáns különbség a levelek arzén-tartalmában, mint a sárgarépa teszt növényénél. A középső dózistól az emelkedés mindkét öntözési mód esetében megfigyelhető, majd a 400-as dózistól az emelkedés csak az esőztető öntözésnél folytatódik.

A sárgarépanál említett élettani ellentmondás, mint érdekesség, a petrezselyemnél is fennáll, vagyis a különböző mértékű arzén koncentrációt produkáló lombrészekhez tartozó karógyökerekben egyetlen dózistól sem mutatható ki az arzén jelenléte.

Meg szeretném jegyezni, hogy a kapott eredmények alapján variancia-analízis és szignifikancia vizsgálat nem történt; annak ellenére, az eredmények az ismétlés átlagából születtek; mégpedig azért nem, mert a vizsgálat eredményei nem mutattak volna szignifikáns eltéréseket.

V. KÖVETKEZTETÉSEK

Az eredmények kiértékelése után az alábbi következtetésekre jutottunk:

Az As-koncentrációk nagyságrendje a sárgarépa és a petrezselyem növényeknél nagyjából azonos. A fogyasztásra szánt karógyökérben nem találtunk az egészséget veszélyeztető As-tartalmat. A fogyasztásra szánt lombozatban a petrezselyem esetében a minták As-tartalma határérték körüli a két magasabb dózisnál, különösen abban az esetben, ahol esőztető öntözést alkalmaztuk.

Kádár Imre az 1992-ben elvégzett sárgarépa elemterheléssel kapcsolatos kísérletben is arra a következtetésre jutott, hogy a gyökérben szinte ki sem mutatható az arzén, tehát az As terhelés nem tette fogyasztásra alkalmatlanná a gyökértermést [Kádár, 1995]. Szintén hasonló eredményeket kapott Sipter Emese (2008) Toxikus fémek egészségi kockázatának értékelése című Ph.D. munkájában, a sárgarépa arzéntartalma minden esetben a kimutatási határ alatt volt.

Nemcsak hazánkban, de külföldön is alátámasztották az általunk is kapott eredményeket. Overcash és Pal (1979) növényfajokat arzénmérgezéssel szembeni ellenálló képességük szerint vizsgálták, a sárgarépát a nagyon toleráns kategóriába sorolták. B. H. Zandstra és T. A. De Krygerb (2007) munkájában is bebizonyított, hogy a sárgarépa karógyökerének arzéntartalma a kimutatási határ alatt volt [Zandstra, De Krygerb, 2007].

Összegezve tehát, közepes, illetve jó humusztartalmú talajokon, a dél-alföldi régióban előforduló öntözővíz arzéntartalmai esetén a gyökérzöltségek karógyökerében nagy valószínűséggel nem alakul ki az egészségre veszélyes mértékű arzéntartalom.

A lombozatnál a petrezselyem esetében esőztető öntözés mellett a dél-alföldi régióban előforduló As-koncentrációkat figyelembe véve a petrezselyem lombozatának As-tartalma határérték körüli lehet.

VI. ÖSSZEFOGLALÁS

Az arzén már régóta ismert toxikus elem, mely a hazai kútvezetekben is előfordul, esetenként elérheti a 200 µg/l-es, az öntözővizekben megengedett határértéket. Szakértők javaslatai szerint az ivóvíz 10 µg/l, míg növényi eredetű élelmiszereink 200 µg/kg koncentrációban tartalmazhatják [17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet]. Az 1980-as évek elején bizonyosodott be, hogy hazánkban az ivóvizekben több helyen előfordult az akkor érvényes határértéket meghaladó arzéntartalom. Az arzén a felszín alatti vízkészlet legsúlyosabb problémáját jelenti, mely leginkább az ország délkeleti vidékeit érinti (Bács- Kiskun, Békés, Csongrád és Szolnok megye) [Galambos, 2006].

Az ország egyes részein, főként a dél-alföldi régióban az arzénnel szennyezett öntözővízzel öntözött növények viszonylag könnyen felveszik, nagy mennyiségű arzént akumulálhatnak. A hazai zöldségtermesztő területünk kb. 80 %-a a Dél-Alföldi régiót érinti, melyből a gyökérzöldségek termesztése is ebbe a régióba esik [Balázs, 2004]. A zöldségtermesztés intenzív öntözést igényel és ezeken a területeken a felszín alatti vizeknek magas az arzéntartalma, ezért 2010-ben elindítottunk egy öntözési, tenyészedényes kísérletet a sárgarépa és a petrezselyem növényekkel, hogy megvizsgáljuk, szennyeződnek-e a növények arzénnel, esetleg akumulálják-e.

A Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Karának Bemutató kertjében valósult meg a sárgarépa és a petrezselyem arzénfelvevő és akumuláló képességének vizsgálata. A növények arzénszennyezését 50-100-200-400 és 800 µg/l-es dózisok alkalmazásával valósítottuk meg. Az arzénnel szennyezett öntözővíz kijuttatása két különböző öntözési módszer segítségével történt. Az egyik az esőztető öntözésnek felel meg, a szennyezett víz először a növény levelével érintkezik. Ennek főként a nyári időszakban van jelentősége, amikor a növény felületére érkező víz gyorsabban elpárolog, így arzénszennyezést hagyhat maga után. A másik öntözési módszer a csepegtető módszernek felel meg, vagyis az arzénnel szennyezett öntözővíz nem kerül a növények felületére.

A vizsgálat során meghatároztuk a gyökérzöldségek karógyökerének és levelének arzéntartalmát, különös figyelmet fordítva a növények fogyasztásra kerülő részére. Az eredmények alapján elmondható, hogy a fogyasztásra szánt karógyökérben nem találtunk az egészséget veszélyeztető As-tartalmat. A fogyasztásra szánt lombozatban a petrezselyem esetében a minták As-tartalma határérték körüli, 400 µg/l-es dózisonál, esőztető öntözés esetében az 1-es (1,74 mg/kg), a 2-es (1,48 mg/kg), a 4-es (1,69 mg/kg) ismétlésnél, valamint a csepegtető öntözés esetében a 3-as ismétlésnél 2,01-es értéket mértünk. A 800 µg/l-es dózisonál mind a négy ismétlésnél 1,5 mg/kg fölötti értékek figyelhetők meg. Az értékek szárazanyagra vonatkoztatottak. A lombozatnál a petrezselyem esetében esőztető öntözés mellett a Dél-Alföldi régióban előforduló As-koncentrációkat figyelembe véve a petrezselyem lombozatának As-tartalma határérték (0,200 mg/kg eredeti állapotú növény) körüli lehet.

VII. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Végül szeretném megköszönni mindazoknak, akik részt vettek a kísérlet kivitelezésében és segítségemre voltak dolgozatom megírásában, többek között a Környezettudományi Intézet Talaj- és Növényvizsgáló Laboratórium dolgozóinak, a Dísznövény- és Zöldségtermesztési Intézet dolgozóinak, Tóthné Taskovics Zsuzsannának és nem utolsó sorban Hüvely Attilának, aki szakmai tudásával, segítőkészségével támogatott dolgozatom megírásában.

Köszönettel: Fazekas Enikő

VIII. IRODALOMJEGYZÉK

- 201/2001. (X.25.) Korm. Rendelet.** Az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről.
- 17/1999. (VI.16) EüM rendelet** Az élelmiszerek vegyi szennyezettségének megengedhető mértékéről.
- Anawar, H. M., Akai, J., Mostofa, K. M. G., Safiullah, S., Tareq, S. M. (2002):** Arsenic poisoning in groundwater. Health risk and geochemical sources in Bangladesh. *Environment. International*, 27, 597-604. p.
- A Pallas nagy lexikona (1983):** Arcanum Adatbázis Kft, Budapest, 1998.
- Balázs S., Filius I. (1973):** Zöldségkülönlegességek. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest, 1973.
- Balázs S. (2004):** Zöldségtermesztők kézikönyve. Mezőgazda Kiadó. 2004.
- Bartha A. (1998):** Geokémia-Geoanalitika Ritkaelemek, víz és környezetgeokémia. Magyar Állami Földtani Intézet Laboratóriumi Főosztály. Budapest, 1998.
- Bodor V. (2007):** Arzénnel szennyezett öntözővíz hatása hajtatott fejeskáposzta fejlődésére. Diplomadolgozat. KF Kertészeti Főiskolai Kar. Környezettudományi Intézet. Kecskemét, 2007.
- Csalagovits I. (1999):** A magyarországi arzénos rétegvizek földtani- geokémiai környezete és lehetséges genetikája. Magyar Állami Földtani Intézet. Budapest, 1999.
- Csanády M., Bozsai G., Deák Zs. (1985):** Arzén előfordulása alföldi rétegvizekben. *Egészségtudomány* 29, pp. 240–249.
- Csanády M. (1998):** Mennyi arzén lehet a hazai ivóvizekben? Környezetvédelmi Tájékoztató Szolgálat. Környezetgazdálkodási Intézet. Budapest, 1998.
- Csathó P. (1994):** A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés. MTA-TAKI. Budapest, 1994.
- Dental Hírek (2004):** Az arzén kultúrtörténete és szerepe a foggyógyászatban. VIII. évfolyam 1. szám. Az arzén története. 2004.
- Erdélyi M. (1990):** A tiszántúli arzénos rétegvíz hidrogeológiája. In: Szederkényi T. (red.) 1990.: Az arzéntartalom származása és alakulásának kérdései Békés megye vízmű kútjaiban. Az MTA Szegedi Akadémiai Bizottságának Kiadványai, Szeged, pp. 71–86.
- Erdélyi M. (1991):** A tiszántúli arzénos rétegvíz hidrogeológiája. *Földrajzi Értesítő* 1991. (3–4): 231–251.
- Európai Bizottság Rendelete (2009):** Az Európai Bizottság 552/2009/ EK Rendelete a vegyi anyagok regisztrálásáról, értékeléséről, engedélyezéséről és korlátozásáról szóló 1907/2006/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet XVII. Mellékletének módosításáról. 2009.

- Fergusson, J. E. (1991):** The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press. Oxford-New York- Seoul-Tokyo.
- Fügedi U., Szurkos G., Vermes J. (2004):** Éghajlatváltozások geokémiai hatásai Magyarország középső és keleti részén. A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése. 2004. Budapest.
- FruitVeb (2010):** A zöldség- és gyümölcs ágazat helyzete Magyarországon. FruitVeb Magyar Zöldség- és Gyümölcs Szakmaközi Szervezet. 2010.
- Galambos I. (2006):** Kútvizek huminsav- és arzénmentesítése. Doktori (PhD) értekezés. Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Kar Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék. Budapest, 2006.
- Hodossi S., Kovács A., Terbe I. (2004):** Zöldségtermesztés szabadföldön. Mezőgazda Kiadó. 2004.
- Hüvely A. (2005):** Az ICP, vagyis az emissziós analízis lehetőségei című előadás (A Magyar Tudomány Ünnepe, Megyei Tudományos Fórum, 2005. 11. 09, Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar)
- Kádár I. (1991):** Környezet- és természetvédelmi kutatások: A talajok és növények nehézfém tartalmának vizsgálata. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest, 1991.
- Kádár I. (1995):** Környezet- és természetvédelmi kutatások: A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest, 1995.
- Lippay J. (1664):** Posoni kert. Bécs. 1664.
- Mohácsi É., (1987):** Az arzénmentesítés és technológiai fejlesztésének tapasztalatai, A vízgazdálkodás kutatási-fejlesztési eredményei, Országos Vízügyi Hivatal, Budapest, 1987.
- Overcash, M. R., Pal, D. (1979):** Design of land treatment systems for industrial wastes-theory and practice. Ann Arbor Science Publ. Inc. 684p.
- Ódor L., Horváth I., Fügedi U. (1995):** Országos Geokémiai Felvételek. I. Magyarország geokémiai térképsorozata, II. A regionális környezeti terhelés. MÁFI, Geokémiai Főosztály. 1995.
- Sipter E. (2008):** Toxikus fémek egészségi kockázatának értékelése. Ph.D. értekezés tézisei, Budapest, 2008.
- Statisztikai Tájékoztató (2005):** Bács-Kiskun Megyei Statisztikai Tájékoztató, 2004. (1/2005.). Központi Statisztikai Hivatal Szegedi Igazgatósága. Szeged, 2005.
- Szabó S. A. (1987):** Mikroelemek a mezőgazdaságban I.: Esszenciális mikroelemek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1987. Wikipedia.
- Szabó S. A. (2007):** Arzén az élelmiszerekben, Élelmiszerek ásványi anyag tartalma 25. rész, Élelmiszeripar, LXI. Évf. 9. szám. 2007.

- Szederkényi T. (1990):** A DK-tiszántúli rétegvizek arzéntartalmának mélységi (medencealjzati) eredetéről. In: Szederkényi T. (red.) 1990: Az arzéntartalom származása és alakulásának kérdései Békés megye vízmű kútjaiban. Az MTA Szegedi Akadémiai Bizottságának Kiadványai, Szeged. 1990.
- Thompson, H. C., Kelly, W. C. (1957):** Vegetable Crops. 5. ed. Mc. Graw-Hill New York–London-Toronto, 1957.
- Tóth GY., Egerer F., Namesánszky K. (1985):** Magyarország Vízgeokémiai Atlasza. (Hydrogeochemical Atlas of Hungary.) M=1:1 000 000. MÁFI kiadvány. Kézirat. 1985.
- Varsányi I., Ó. Kovács L. (2002):** Factors influencing the As content of subsurface water in the Pannonian Basin, Hungary. In: Bocanegra, E., Martinez, D., Massone, H. (eds.): Proc. Groundwater and Human Development Congress 2002, mar del Plata, Argentina, pp. 1533–1541. CD-ROM, ISBN 987-544-063-9.
- Zandstra, B. H. & De Kryger, T. A. (2007):** Arsenic and lead residues in carrots from foliar applications of monosodium methanearsonate (MSMA): A comparison between mineral and organic soils, or from soil residues, Food Additives and Contaminants Journal, 2007.